



El Ojo del Cóndor

una mirada diferente a nuestra geografía

Número 14
ISSN (impresa): 1853-9505
ISSN (en línea): 2362-5821



La revista *El Ojo del Cóndor* es una publicación del Instituto Geográfico Nacional.

Riesgos de desastre en Argentina

Cartografía e información geoespacial para la gestión integral del riesgo de desastre | Inundaciones urbanas | Vulcanismo y sus efectos | Movimientos en masa | Sismos | Vulnerabilidad social frente a desastres | Sistema Nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias | Incendios forestales y su impacto en la salud | Olas de calor | Las FFAA en la gestión del riesgo.

Institucionales

Modelos digitales de elevación a partir de datos SAR de SAOCOM-1 y Sentinel-1 | Teledetección satelital y procesamiento remoto | Marcos de referencia geodésicos | Aportes del IGN a partir de su participación en las Campañas Antárticas | Nomenclador Geográfico Nacional | Nuevo Atlas Geográfico de la República Argentina | Nuevo equipamiento para la producción aerofotogramétrica del IGN.

Erupción del volcán Puyehue

Imagen MODIS
Combinación de bandas (1-4-3)
Resolución de píxel 500 m
Fecha 13 de junio de 2011



0 50 100 km



Ing. Geog. Marcelo Fabián Ancarola
Presidente del Instituto Geográfico Nacional

Estimados lectores

En este número de la revista *El Ojo del Cóndor*, abordamos los riesgos de desastre, un tema históricamente relevante para la humanidad y especialmente apremiante en el presente y el futuro. Como es tradición en esta publicación, el dossier está centrado en la República Argentina y aborda la temática desde distintos enfoques y procurando cubrir la diversidad de problemáticas existentes.

Los riesgos de desastre pueden ser de origen natural o antrópico. Los primeros incluyen sismos, erupciones volcánicas y fenómenos hidrometeorológicos, entre otros. Los segundos se vinculan con actividades humanas y abarcan amenazas tecnológicas como derrames de hidrocarburos, incendios provocados de manera intencional o accidental, entre otros ejemplos. Sin embargo, ningún desastre es estrictamente “natural”. Sus consecuencias están siempre mediadas por la sociedad, ya sea en las formas de prevención, en quiénes asumen los costos, en los modos de gestionar la incertidumbre y el riesgo, o incluso en intervenciones humanas que pueden desencadenar o agravar fenómenos que, en apariencia, parecen naturales, como los meteorológicos. Por ello, este número busca ofrecer una mirada desde la gestión integral del riesgo de desastre, entendiendo a los desastres como procesos en los que interactúan las dimensiones sociales y naturales, y destacando el papel de la intervención humana en su prevención, mitigación y respuesta.

Los artículos publicados en este número reúnen la participación de especialistas en agronomía, antropología, astronomía, biología, ciencias ambientales, ciencias de la atmósfera, ciencias de la comunicación, ciencias de la computación, geografía, geología, ingeniería forestal, medicina, química y sociología. Pese a la variedad de enfoques, muchos de ellos coinciden en una perspectiva territorial de los procesos, en la que la cartografía constituye una herramienta clave para explicar y comprender los riesgos.

Es importante destacar que esta diversidad de enfoques es posible gracias a la participación de profesionales provenientes de distintas universidades y organismos públicos. Entre ellos se encuentran el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), el Ejército Argentino, el Instituto Geográfico Nacional

(IGN), el Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas “Dr. Carlos G. Malbrán” del Ministerio de Salud de la Nación, el Ministerio de Seguridad Nacional, el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), la Universidad de Buenos Aires (UBA), la Universidad Nacional de Avellaneda (UNDAV), la Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM), la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNJSB), la Universidad Nacional del Comahue (UNCo), la Universidad Nacional del Sur (UNS) y la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ).

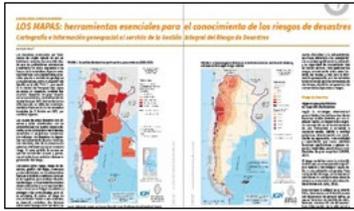
De este modo, en las páginas de este número se encontrarán artículos que abordarán temas como los sismos y sus efectos en la licuefacción de suelos, el vulcanismo en Argentina, las consecuencias de la caída de cenizas volcánicas en la Patagonia, los procesos de remoción en masa, las inundaciones urbanas, los impactos en la salud del humo proveniente de incendios forestales, la vulnerabilidad social frente a los riesgos, el monitoreo de amenazas mediante imágenes satelitales y sistemas de información geográfica, los posibles riesgos asociados a la explotación de hidrocarburos no convencionales, las olas de calor y sus efectos sobre la población, así como el rol de las Fuerzas Armadas frente a escenarios de desastre.

Como cada año, esta revista presenta una sección dedicada a dar a conocer los servicios y productos que el Instituto Geográfico Nacional está desarrollando. Entre ellos se encuentran la publicación del Atlas Geográfico de la República Argentina; la campaña de trabajo de campo en la Antártida Argentina que realiza el Instituto; el mantenimiento del Marco de Referencia Geodésico nacional a través de la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC); la publicación del Nomenclador Geográfico Nacional, que habilita un buscador centralizado de topónimos, y la incorporación de nuevas tecnologías para la captura de datos de alta precisión mediante vuelos con sistema LiDAR. Además, se destaca la utilización de sensores remotos para la captura de información geoespacial y topográfica, tales como los humedales y la forma y altura del terreno, que permiten la generación de Modelos Digitales de Elevación.

Esta diversidad temática, que va desde los procesos geofísicos hasta las dimensiones sociales y de gestión, refleja la riqueza de enfoques que nutre este número y que, de manera articulada, busca aportar a la comprensión y reducción del riesgo de desastres en Argentina.

1 Editorial

4



LOS MAPAS: herramientas esenciales para el conocimiento de los riesgos de desastres

Ana Paula Micou

23



La erupción del Cordón Caulle 2011 y su impacto en patagonia norte

Débora Beigt, Gustavo Villarosa, Valeria Outes, Nahuel Losano, Pablo A. Salgado y Pablo Amat

27 Los movimientos en masa en la Argentina

Alejandro Emmanuel Celli

41



SINAME: Sistema Nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias

María Leticia Cardoso y Sebastián Portillo

Dossier: riesgos de desastre en Argentina

10



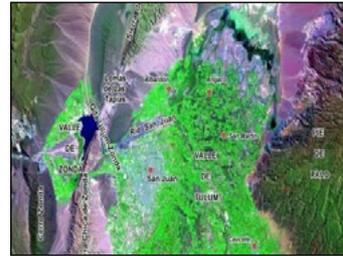
Inundaciones urbanas en la Argentina: el caso de Bahía Blanca y la importancia de la cartografía de riesgo

Paula Andrea Zapperi y Mariana Mancino

30

Procesos de licuación de suelos asociados a terremotos, provincia de San Juan

Silvia Beatriz Palacios



Insert "Inundación de Bahía Blanca - 7 de marzo de 2025".

14

Eventos extremos de precipitaciones en ambientes semiáridos: El caso de Comodoro Rivadavia en 2017

José Matildo Paredes y S. Mariela Ocampo



34

Impactos ambientales y riesgos de contaminación por fracking en la cuenca del río Negro: un análisis geoespacial integrado

Diego Agustín González, Juan Carlos Roca, Lucía Orrego, Romina Díaz Gómez, Marina Mautner y Laura Forni

44

Información espacial para la gestión de desastres

Lighezzolo Andrés, Mariana Horlent y Marcelo Colazo

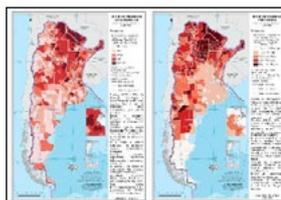
18

Gestión de los riesgos volcánicos en la República Argentina

Sebastian E. Garcia



38



Vulnerabilidad social frente a desastres Un índice para evaluar el riesgo en su expresión territorial

Anabel Calvo, María Laura Contín, Elvira Gentile, Claudia Eleonor Natenzon y Constanza Riera

48 MONITOREANDO EL RIESGO DE LOS INCENDIOS: el humo como problema sanitario

Martín Amigo, Cecilia Belén Cappa, Florencia Sol García, Leonardo Iula y Mariana Manteca Acosta

53 ¡Qué calor en la ciudad!

Riesgos para la salud de la población argentina por olas de calor

Matilde Rusticucci, Silvia Fontán, Francisco Chesini, Lucía Bartolomeu, Yanina Azas y Rosana Abrutzky

57



El rol de las FFAA en la gestión del riesgo

Emanuel Jesús Granero

Institucionales

- 61** **Modelos digitales de elevación a partir de datos SAR de las misiones satelitales SAOCOM-1 y Sentinel-1**
Federico Ibarra
- 64** **Teledetección satelital y procesamiento remotopara la generación de información geoespacial**
Carolina S. Ramos, José L. Seco, A. Paula Micou
- 68** **Marcos de referencia geodésicos: el soporte invisible de la precisión en la Argentina**
Micaela Carbonetti, Berenice Deniz y Sergio Cimbaro
- 72** **Aportes del IGN al conocimiento geoespacial y a la soberanía territorial a partir de su participación en las Campañas Antárticas**
Anaía Almirón, Fermin Ávila y Silvina López
- 74** **Nomenclador Geográfico Nacional. Gestión y acceso a los Nombres Geográficos oficiales de la República Argentina**
Silvina López y María Dolores Puente
- 76** **Nuevo Atlas Geográfico de la República Argentina del Instituto Geográfico Nacional**
Lucas Ramírez, Sabrina Juárez y María Dolores Puente
- 80** **Nuevo equipamiento para la producción aerofotogramétrica del IGN**
Sebastián Gabriel Ludueña y Laura Pietrangelo

Las opiniones expresadas en los artículos son de exclusiva responsabilidad de los autores, y pueden no coincidir con las del Instituto Geográfico Nacional.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes deberán realizarse con la correspondiente referencia.

La revista **El Ojo del Cóndor** es una publicación periódica del Instituto Geográfico Nacional

Presidente
Dr. Javier Milei

Ministro de Defensa
Dr. Luis Petri

Secretario de Investigación, Política Industrial y Producción para la Defensa
Lic. Mario Katzenell



Presidente del Instituto Geográfico Nacional
MY (R) Ing. Geógrafo Marcelo Fabián Ancarola

COMITÉ EDITORIAL

Coordinadora
Mg. María Dolores Puente

Editores
Dr. Lucas Emanuel Ramírez
Prof. Sabrina Juárez

Consejo Asesor
Prof. Anaía Almirón
Dra. Ana Paula Micou

Director de Arte
Jorge Alba Posse

Editor responsable:
Instituto Geográfico Nacional

Avenida Cabildo 381 (C1426AAD),
Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
República Argentina.

Número 14 - Septiembre de 2025
ISSN (en línea): 2362-5821

Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

E-mail: elojodelcondor@ign.gov.ar

LOS MAPAS: herramientas esenciales para Cartografía e información geoespacial al servicio de la Gestión

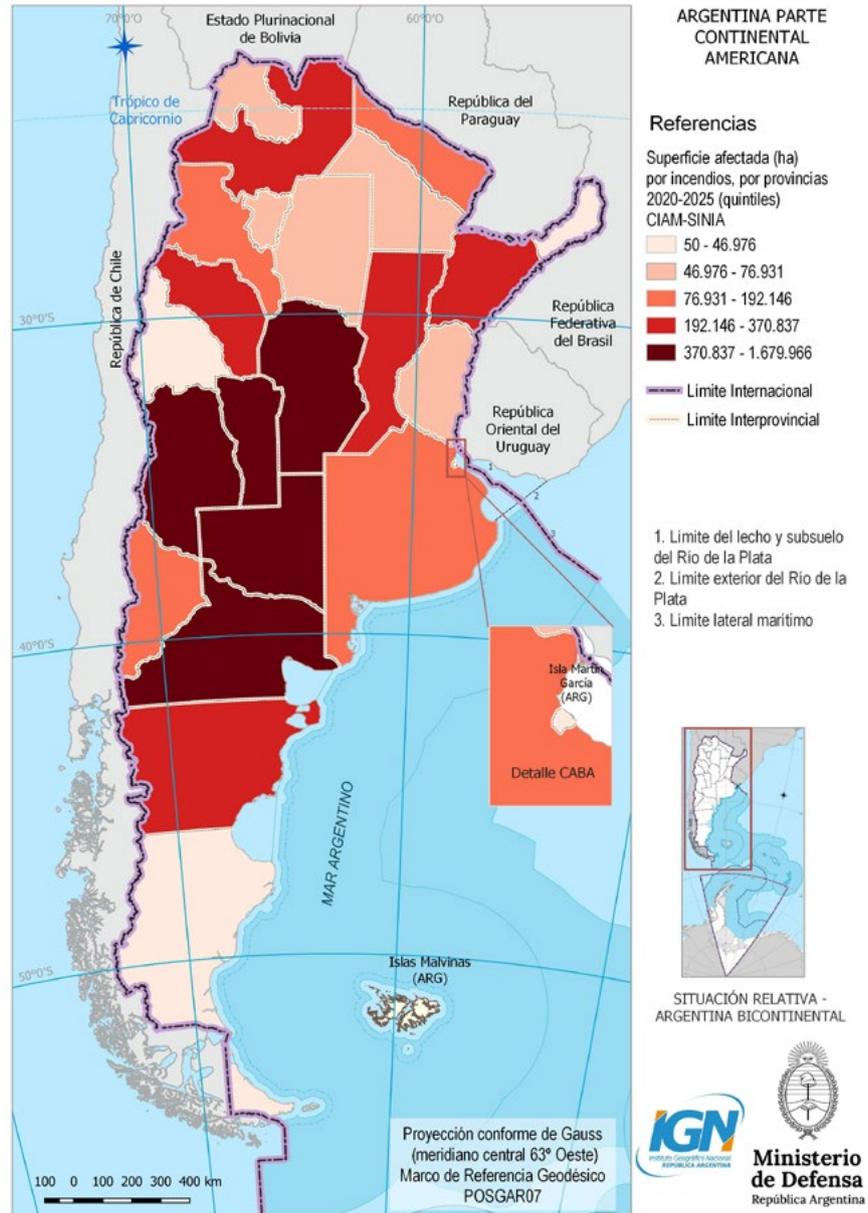
Ana Paula Micou*

Los desastres provocados por fenómenos de origen natural no son recientes; han ocurrido desde que las poblaciones comenzaron a asentarse en zonas expuestas a las fuerzas de la naturaleza. Algunos eventos históricos son ampliamente conocidos gracias a evidencias geológicas y arqueológicas, como la erupción del Vesubio en el año 79 d. C., que sepultó la ciudad de Pompeya bajo capas de ceniza. En Argentina, también han ocurrido desastres de gran impacto social y económico, como el terremoto de Mendoza en 1861, la inundación de Villa Epecuén en 1985, las inundaciones de La Plata en 2013 o los incendios forestales de El Bolsón en 2025, por nombrar algunos.

Las causas de estos desastres son diversas y están relacionadas con las características del evento desencadenante, como precipitaciones intensas, terremotos o erupciones volcánicas. Sin embargo, los desastres no dependen exclusivamente de estos fenómenos naturales, sino de la presencia de personas e infraestructura en zonas de riesgo. En este sentido, la manera en que las sociedades ocupan y gestionan el territorio es un factor clave en la generación del riesgo.

Conceptos como riesgo, riesgo de desastres, gestión del riesgo, amenazas y vulnerabilidades son fundamentales tanto en el ámbito académico como en el de la gestión para analizar situaciones de riesgo. Comprender los eventos desencadenantes y su comportamiento es crucial para mitigar sus efectos y proteger a las comunidades, pero no es suficiente. Al evaluar el riesgo de una población frente a una amenaza, es esencial considerar dos factores adicionales: la exposición (es decir, las personas e infraestructuras potencialmente afectadas) y la vulnerabilidad,

FIGURA 1. Superficie afectada (ha) por incendios, por provincias (2020-2025)



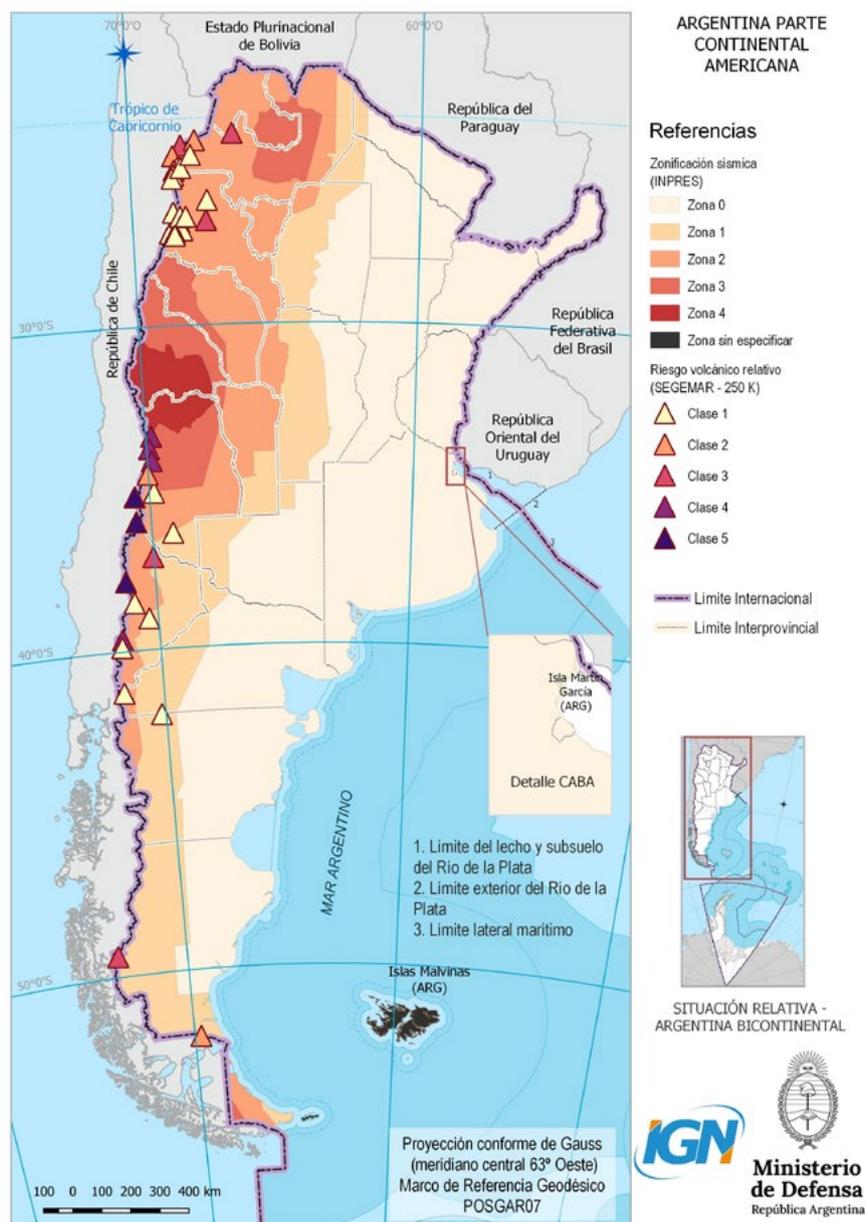
Fuente: elaboración propia con base en datos del Centro de Información Ambiental y el Sistema Integrado de Información Ambiental, Subsecretaría de Ambiente de la Nación, e Instituto Geográfico Nacional (IGN).

* Doctora en Geografía. Responsable del área de I+D. Instituto Geográfico Nacional.

el conocimiento de los riesgos de desastres

Integral del Riesgo de Desastres

FIGURA 2. Amenazas geodinámicas en el territorio nacional: zonificación sísmica y volcanes activos según riesgo relativo



Fuente: elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), SEGEMAR e IGN.

que hace referencia a las características sociodemográficas de la población y su capacidad de recuperación tras un evento adverso. Para gestionar los riesgos considerando todos estos factores, los mapas, y más aún la información geoespacial, son herramientas fundamentales para los tomadores de decisiones, el público en general y las comunidades expuestas a riesgos.

Riesgo de desastres

Algunos conceptos básicos en la gestión de desastres

Según la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNDRR, por sus siglas en inglés), un desastre es una grave interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad, a cualquier escala, debido a eventos peligrosos, interactuando con condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidades que causa pérdidas humanas significativas y genera impactos materiales, económicos y ambientales de gran magnitud (UNDRR, 2017).

El riesgo se define como la probabilidad de que una amenaza (de origen físico-natural o tecnológico) cause daños a una población vulnerable. Para comprender el riesgo, es fundamental considerar los componentes clave: la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad (Natenzon, 1995, 2018).

Una amenaza (o peligro) es un evento físico, fenómeno o actividad humana con el potencial de generar daños, ya sea en términos de pérdida de vidas, lesiones, destrucción de infraestructura, interrupción de la vida social y económica, o degradación ambiental (UNDRR, 2017). Estas amenazas pueden tener distintos orígenes y serán vistos más adelante.

La vulnerabilidad es un concepto complejo y su definición varía entre los diferentes autores, pero a los fines de este artículo entendemos a la misma como las condiciones socioeconómicas previas a un desastre, las cuales definen qué tan susceptible es una sociedad a sufrir impactos negativos ante una amenaza, así como su capacidad de respuesta y recuperación (Natenzon, 2004, 2018; Herrero *et al.*, 2018). Por otro lado, la exposición hace referencia a la distribución espacial de la población y la infraestructura en relación con una amenaza, es decir, qué elementos se encuentran en riesgo si el evento ocurre, por ejemplo rutas, líneas de alta tensión, los usos del suelo de un determinado lugar, etc.

Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD)

A diferencia de las interpretaciones comunes o de las narrativas que suelen difundirse en los medios de comunicación, donde los desastres se atribuyen exclusivamente a fenómenos naturales—por ejemplo, al afirmar que “las inundaciones son causadas por las fuertes lluvias” o simplemente al tratar a los eventos como “catástrofes naturales”—, el enfoque de gestión para la reducción del riesgo de desastres desafía esta visión. Este marco conceptual reconoce que los desastres no son naturales, sino el resultado, como vimos, de la interacción entre amenazas, vulnerabilidades y exposición. Además, proporciona herramientas y estrategias para comprender, analizar y evaluar los riesgos, con el fin de reducirlos mediante medidas de prevención y mitigación, más allá de las respuestas tradicionales ante emergencias.

A diferencia de la gestión de desastres, que se enfoca en la respuesta posterior a un evento, la gestión del riesgo de desastres pone el énfasis en el análisis de las condiciones previas. Considera factores como las amenazas, la vulnerabilidad y la exposición para identificar y abordar los riesgos antes de que ocurran los eventos. También incluye acciones de preparación, por ejemplo garantizar que la

población conozca las rutas de evacuación ante una erupción volcánica o que los gobiernos locales identifiquen a los grupos más vulnerables en caso de inundación. Asimismo, contempla medidas de mitigación, como la planificación urbana basada en la identificación de zonas con alta susceptibilidad a inundaciones o regulaciones acerca de construcciones sismo resistente. Además, la gestión del riesgo de desastres no solo actúa en la fase previa a los eventos, sino que también abarca la recuperación y reconstrucción posteriores. Según el Marco de Sendai (2015)¹, “la gestión del riesgo de desastres es la aplicación de políticas y estrategias de reducción del riesgo de desastres para prevenir nuevos riesgos, reducir los riesgos existentes y gestionar los riesgos residuales, contribuyendo al fortalecimiento de la resiliencia y a la reducción de las pérdidas por desastres”.

Contexto en Argentina

Tipos de riesgos más frecuentes y/o de mayor impacto en Argentina

Debido a las diferencias geográficas, climáticas y socio demográficas de nuestro país, existe una variedad considerable de riesgos; en este artículo se mencionarán los riesgos que han sido más frecuentes o han tenido mayores impactos en la sociedad en los últimos años, tomando como fuente los registros del Sistema Nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias (SINAME) y del Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR) del año 2025.

Riesgos de origen hidrometeorológico: las inundaciones son uno de los riesgos más frecuentes en Argentina, especialmente en las regiones del este y noreste del país. Eventos como las inundaciones en Santa Fe (2003), La Plata (2013) y Bahía Blanca (2025) provocaron miles de evacuaciones y significativos daños materiales. Si

bien fueron desencadenadas por precipitaciones intensas, estos desastres evidenciaron la insuficiencia de las infraestructuras urbanas para mitigar sus impactos y la ocupación del territorio sin consideración de las zonas con riesgo de inundación.

Riesgos de origen físico-químico: entre los riesgos más recurrentes de esta categoría se encuentran los incendios forestales. En los últimos años, provincias como Córdoba, Corrientes, Chubut, Río Negro y La Pampa han sido las más afectadas. La FIGURA 1 muestra la distribución por provincias de la cantidad de hectáreas que se han visto afectadas por incendios. En la mayoría de los casos, estos incendios son provocados por acción humana, y las condiciones climáticas junto con la vegetación seca favorecen su rápida propagación.

Riesgos de origen geodinámico: la región andina y, principalmente, Cuyo presentan una alta actividad sísmica y volcánica, con frecuentes movimientos telúricos de baja intensidad. Uno de los eventos más devastadores fue el terremoto de San Juan en 1944, que destruyó la ciudad y provocó la muerte del 10% de la población; subrayó la importancia de fortalecer la preparación y la mitigación a través del planeamiento urbano, con por ejemplo calles anchas, y la construcción de infraestructuras sismoresistentes.

En cuanto a la actividad volcánica, los sistemas de alerta temprana emitidos por el Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) juegan un rol clave en la preparación de la población y los sistemas de emergencia, permitiendo minimizar los impactos de posibles erupciones. Algunos de los volcanes que han afectado el territorio argentino en las últimas décadas incluyen el Hudson (1991), el Copahue (2012) y el Calbuco (2015). Conocer la ubicación de los volcanes activos es fundamental para identificar las zonas de riesgo y mejo-

¹ El Marco de Sendai es un acuerdo internacional adoptado en 2015 que establece prioridades y acciones para reducir el riesgo de desastres entre 2015 y 2030. Su objetivo principal es prevenir nuevas amenazas, reducir las existentes y fortalecer la resiliencia de las personas, comunidades y países ante los desastres (United Nations Office for Disaster Risk Reduction 2015).

rar las estrategias de preparación ante futuros eventos (la FIGURA 2 muestra la zonificación según riesgo sísmico y los volcanes activos que podrían afectar el territorio argentino). A modo de resumen, en la FIGURA 3 se puede ver la distribución de las principales amenazas del país, según el SINAGIR.

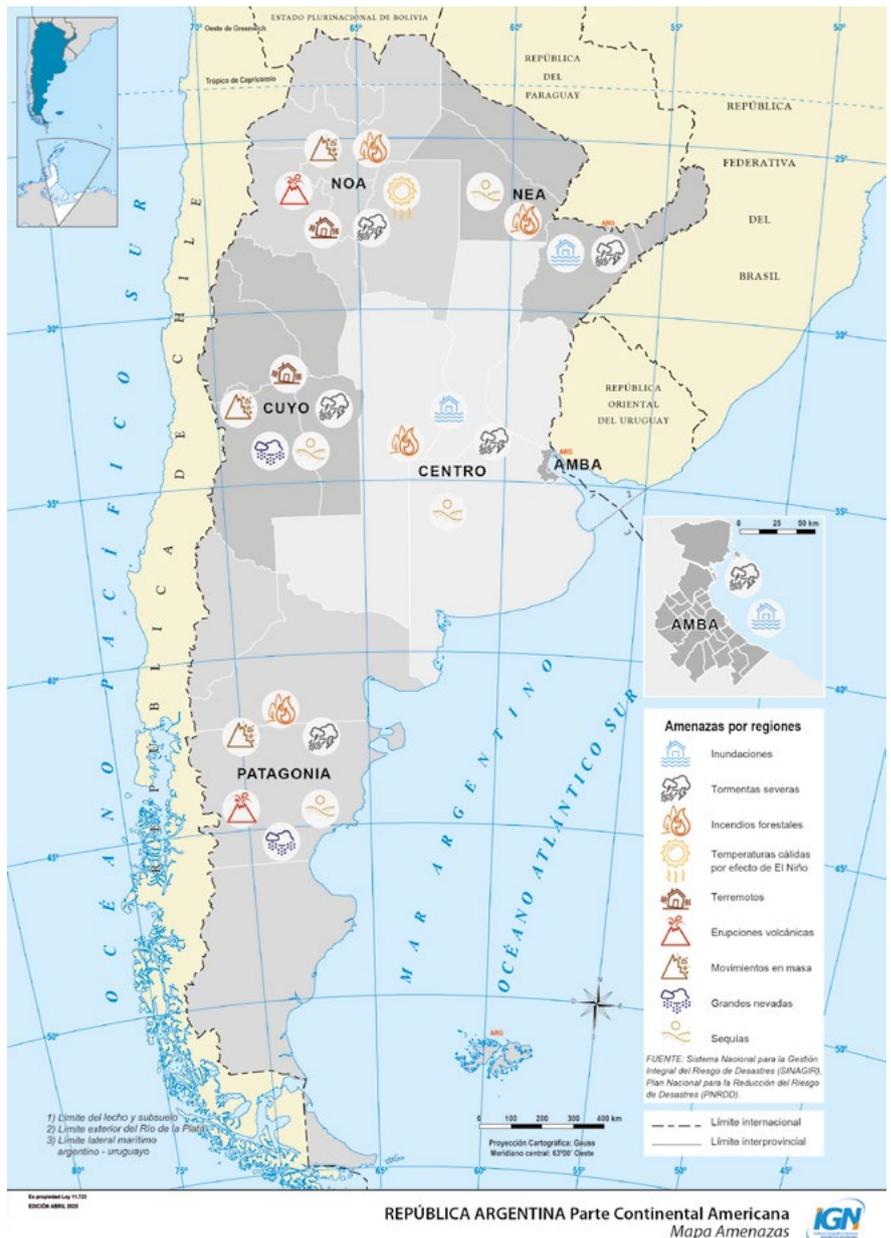
Marco normativo y organizativo

La experiencia acumulada por estos eventos a nivel nacional, junto con las recomendaciones internacionales contenidas en los Marcos de Hyogo, el primer marco internacional en reconocer la importancia de la temática (UNISDR, 2005) y luego Sendai (UNDRR, 2015), ha impulsado la creación de políticas públicas y la implementación de sistemas de alerta temprana y planes de contingencia. En Argentina, la sanción de la Ley 27.287 en 2017, que establece el SINAGIR, es un ejemplo claro de ello. Este sistema se basa en una visión que adopta una concepción del riesgo alineada con los conceptos que venimos analizando y sigue, en cierta medida, las recomendaciones del Marco de Sendai. La ley pone fin a un enfoque centrado únicamente en la respuesta y la emergencia del antiguo Sistema Federal de Emergencias (SIFEMA), comenzando a abordar la complejidad del riesgo, entendiendo este como la interacción entre amenazas, exposición y vulnerabilidad, y adoptando el ciclo completo de gestión del riesgo de desastres. Según el SINAGIR (Ley 27.287, 2016), la Gestión Integral del Riesgo es “un proceso continuo, multidimensional, interministerial y sistémico de formulación, adopción e implementación de políticas, estrategias, planificación, organización, dirección, ejecución y control, prácticas y acciones orientadas a reducir el riesgo de desastres y sus efectos, así como a mitigar las consecuencias de las actividades relacionadas con el manejo de emergencias y/o desastres. Incluye acciones de mitigación, gestión de la emergencia y recuperación”.

Información geoespacial y cartográfica para la GIRD

Para conocer, estudiar y analizar el riesgo con el objetivo de reducirlo, ges-

FIGURA 3. Distribución de los principales riesgos en el territorio nacional por regiones



Fuente: elaboración propia con base en datos de SINAGIR e IGN.

tionarlo y tomar decisiones adecuadas al respecto, es fundamental contar con datos de diversa índole. Entre éstos, la información geoespacial y la cartografía juega un papel destacado. Dado el fuerte componente territorial de los riesgos de desastres, su estudio sería prácticamente inviable sin el uso de mapas.

El Marco de Sendai subraya explícitamente la necesidad de que los estados dispongan de información geoespacial de calidad sobre el riesgo de desastres

en todas sus fases: preparación, respuesta y recuperación (UNDRR, 2015). En este contexto, la ONU, a través del Comité de Expertos sobre la Gestión Mundial de la Información Geoespacial (UN-GGIM), un mecanismo intergubernamental que establece directrices para la gestión de la información geoespacial, creó un grupo de trabajo específico sobre riesgos de desastres. Su objetivo es garantizar que la información y los servicios geoespaciales de calidad estén disponibles y sean accesibles de manera oportuna y coor-

dinada para apoyar la toma de decisiones en todas las fases de la gestión del riesgos (UN-GGIM, 2017).

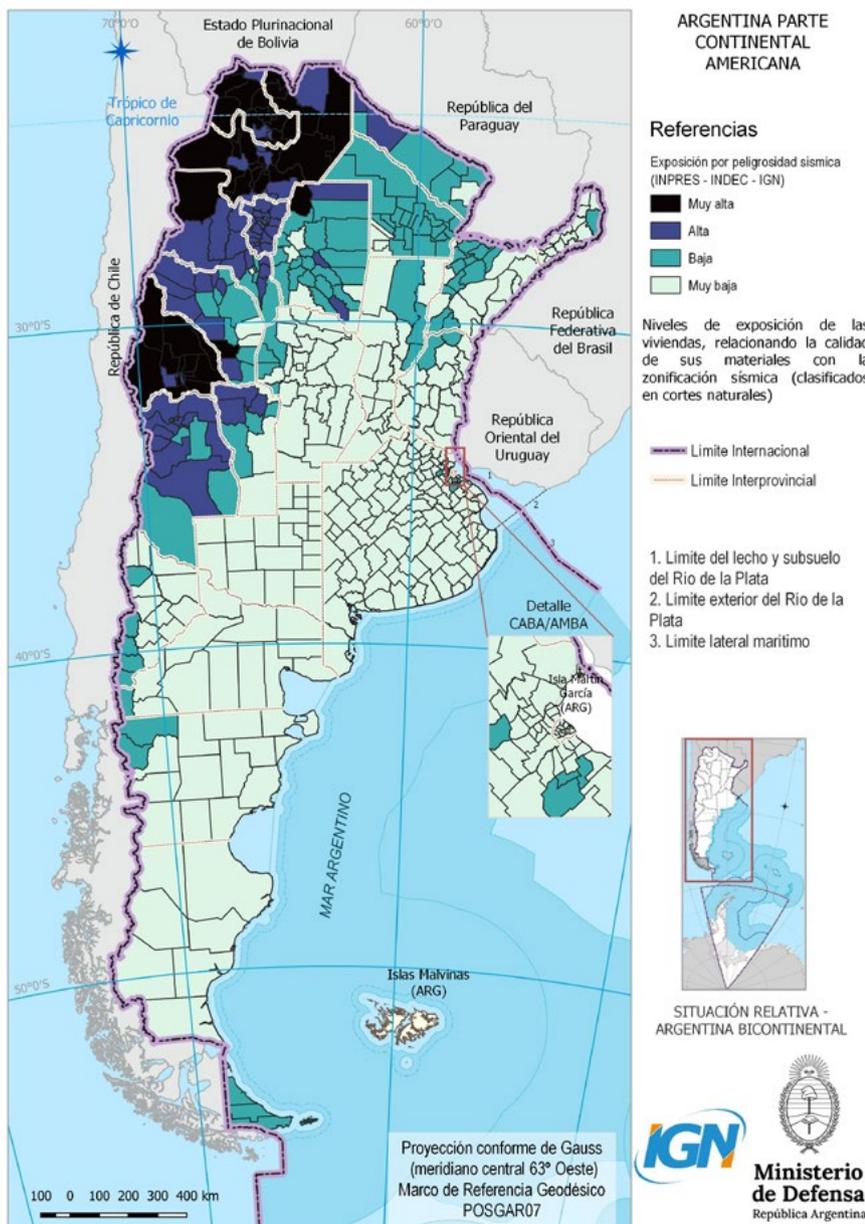
Este marco se complementa con otros, como el UN-IGIF (Marco Integrado de Información Geoespacial), que proporciona una base y directrices para desarrollar, integrar, fortalecer y maximizar la gestión de la información geoespacial y sus recursos relacionados en todos los países miembros. En cada país, este enfoque se materializa a tra-

vés de las Infraestructuras de Datos Espaciales, como es el caso de la IDERA en Argentina, la cual tiene como objetivo propiciar la publicación de datos, productos y servicios, de manera eficiente y oportuna de los organismos de distintos niveles de gestión responsables de la generación de datos (IDERA, 2024). Para ejemplificar de manera más concreta el valor y la aplicación de la información geoespacial, generada por distintos organismos de ciencia y técnica de Argentina para el caso

particular del riesgo de desastres, se ilustran a continuación algunas aplicaciones de la información geográfica en diversas etapas de la GIRD.

Conocimiento y análisis de los riesgos (Prevención): por ejemplo, el mapa de zonificación sísmica del INPRES (FIGURA 2), sumados a datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) sobre calidad de los materiales de las viviendas, da como resultado un mapa de exposición para la identificación de zonas prioritarias de acción (FIGURA 4).

FIGURA 4. Niveles de exposición de viviendas a la peligrosidad sísmica por departamento



Fuente: elaboración propia con base en datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022 (INDEC), INPRES e IGN.

Monitoreo y alerta temprana (Preparación): el servicio de pronóstico y alerta hidrológico de la Cuenca del Plata, elaborado por el Instituto Nacional del Agua (INA), y las alertas por tormentas severas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) combinados con la ubicación de las localidades y municipios generados por organismos como el IGN o el INDEC ayudan, por ejemplo, a difundir con mayor celeridad los avisos a los sistemas de emergencia locales.

Gestión del desastre (Respuesta): los mapas en tiempo real ayudan por ejemplo al personal de Protección Civil a coordinar las evacuaciones o el envío de recursos o equipos de rescate. La existencia de información geoespacial precisa sobre infraestructura y servicios generados por diversos organismos como el IGN, Vialidad Nacional, o el Ministerio de Salud, son indispensables para mantener actualizados dichos mapas.

Rehabilitación (Recuperación): la generación de mapas permite evaluar la distribución espacial del impacto del desastre en términos económicos ambientales y sociales, o el análisis post desastre de vulnerabilidades y amenazas persistentes, a partir de datos tomados en campo. Por ejemplo, el Ministerio de Seguridad, a través de su Sistema Nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias (SINAME), realiza un trabajo valioso de registro de los eventos y sus impactos en términos de evacuados y daños materiales.

Planificación territorial (Mitigación): la incorporación de mapas de riesgo en la planificación urbana y



rural son fundamentales para evitar asentamientos en zonas peligrosas. Hay ejemplos también, de mapas de cobertura y usos del suelo para detectar áreas seguras frente a inundaciones con miras a una futura expansión urbana.

Estado actual y desafíos futuros de la IG para la GIRD

El trabajo realizado sobre temáticas de riesgo de desastres mediante el uso de tecnologías de información geográfica (TIG) por cada uno de los organismos mencionados (y otros) existe desde mucho antes de la formalización de marcos estratégicos internacionales, ya que es parte de las funciones y misiones de cada institución. En este sentido, es importante destacar que los marcos internacionales, junto a la formalización de las IDE, son fundamentales para una gestión adecuada de los datos generados en distintos ámbitos. Sin embargo, aún falta un camino por recorrer en varios aspectos relacionados a la disponibilidad, interoperabilidad, calidad, formas de publicación de los datos geospaciales en general y en relación a la GIRD específicamente.

Uno de los problemas comunes es la percepción errónea de que ciertos da-

tos o información no existen. Sin embargo, muchas veces la información está, pero no se conoce debido a la falta de visibilidad o difusión, o porque no siempre los datos son accesibles de manera centralizada, o no se encuentran publicados adecuadamente en plataformas oficiales. Además, en ocasiones, los datos disponibles no se publican de forma interoperable o carecen de los atributos necesarios para apoyar la toma de decisiones específicas en la gestión de riesgos.

En el caso de Argentina, existen numerosos conjuntos de datos geospaciales que son cruciales para la toma de decisiones en la gestión del riesgo de desastres. Sin embargo, su accesibilidad y calidad no siempre son óptimas, y la falta de estandarización y coordinación entre las distintas entidades encargadas de la recopilación y publicación de estos datos dificulta su uso efectivo. A medida que el país avanza en la implementación de la IDERA, se abren nuevas oportunidades para mejorar la disponibilidad y la calidad de estos datos, permitiendo una gestión más eficiente y coordinada del riesgo.

A futuro, uno de los principales desafíos será fortalecer la infraestructura de datos geospaciales y asegurar su

interoperabilidad a nivel nacional e internacional. Es necesario promover la colaboración entre entidades gubernamentales, académicas y privadas, y desarrollar plataformas que integren diferentes fuentes de información para ofrecer datos actualizados, precisos y de fácil acceso. En este sentido, desde el IGN como organismo responsable de administrar, producir, actualizar y publicar información geoespacial, trabajamos en el desarrollo de un Geoportal de Riesgo (IG-GIRD s/f), cuyo objetivo es brindar información geoespacial básica y fundamental siguiendo normas y estándares establecidos nacional e internacionalmente, de esta forma se pretende facilitar el acceso a distintos usuarios y garantizar la interoperabilidad de los datos. Con esta plataforma, además, se promueve el establecimiento de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) con datos libres, transparentes, susceptibles a ser reutilizados, distribuidos y de fácil acceso a la información espacial disponible. En este sentido, el próximo paso es el trabajo conjunto de los organismos miembros del SINAGIR que generan datos y que están adheridos a IDERA, a fin de acordar un catálogo de objetos básicos y fundamentales para la GIRD.

BIBLIOGRAFÍA

- Herrero, A., Natenzon, C., y Miño M. (2018) *Vulnerabilidad social, amenazas y riesgos frente al cambio climático en el Aglomerado Gran Buenos Aires*. Documento de trabajo N°172. CIPPEC. Programa de Ciudades. Área de Desarrollo Económico.
- IDERA (2024). *Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA)*. <http://www.idera.gob.ar>
- IG-GIRD. (s.f.). *IG-GIRD. Información geoespacial para la Gestión del Riesgo de Desastres*. <https://riesgo.ign.gob.ar/>
- Ley N° 27.287. (2016). *Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil*. 20 de octubre de 2016. Boletín oficial 33.486
- Natenzon, C. (1995). *Catástrofes Naturales, riesgo e incertidumbre*. FLACSO, *Serie de Documentos e Informes de Investigación N° 197*. Buenos Aires.
- Natenzon, C. (2004). *Las grandes inundaciones en el litoral argentino: Riesgo, vulnerabilidad social y catástrofes*. *Encrucijadas*, (29), Universidad de Buenos Aires.
- Natenzon, C. (Coord.). (2018). *Proyecto de Cooperación Técnica internacional para el desarrollo de un estudio comparativo de las condiciones de vulnerabilidad social entre Brasil y Argentina, y su relación con los desastres naturales*. Fundación Joaquim Nabuco-FUNDAJ-UNESCO.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. UNDRR. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2017). *Terminología de reducción del riesgo de desastres*. <https://www.undrr.org/drr-glossary/terminology>
- United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management (UN-GGIM). (2017). *Informe del Grupo de Trabajo sobre Riesgos de Desastres*. <https://www.un.org/geospatial>
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). (2005). *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters*. https://www.preventionweb.net/files/1037_hyogoframeworkforactionenglis

Inundaciones urbanas en la Argentina: el caso de Bahía Blanca y la importancia de la cartografía de riesgo

Paula Andrea Zapperi* y Mariana Mancino**

Inundaciones urbanas: una amenaza creciente en el contexto del cambio climático

Las inundaciones se cuentan entre los peligros climáticos de mayor impacto en áreas urbanas. Lejos de atenuarse, su frecuencia e intensidad tienden a incrementarse como consecuencia de las modificaciones en los patrones de precipitación vinculadas al actual contexto de cambio climático (Wasko *et al.*, 2021; Gründemann *et al.*, 2022; De Luca *et al.*, 2024). Paralelamente, la expansión urbana hacia zonas naturalmente inundables incrementa la exposición de la población frente a este tipo de riesgo. En la Argentina, se estima que una de cada tres personas habita en áreas altamente expuestas a inundaciones, lo que representa al menos 14,2 millones de personas en todo el país (Swiss Re, 2016). Los mayores impactos se registran en localidades del litoral y del centro-este, donde las inundaciones constituyen el 54% de los desastres naturales ocurridos desde 1970. Según el Banco Mundial (2025), el costo económico y social de las inundaciones urbanas asciende a 1.000 millones de dólares anuales. Este fenómeno afecta de manera desproporcionada a los sec-

tores más vulnerables, especialmente a quienes residen en asentamientos informales ubicados en márgenes de ríos y arroyos. Además de las pérdidas materiales, las inundaciones interrumpen el acceso a servicios esenciales como salud, educación y transporte, lo que profundiza la exclusión social y refuerza condiciones estructurales de vulnerabilidad a largo plazo (Banco Mundial, 2023).

Trasladando los principios de la Gestión Integral del Riesgo de Desastre (GIRD) al riesgo de inundación, se pueden distinguir cuatro fases dentro del ciclo que comprende su manejo integral: (1) caracterización de la peligrosidad (evaluación y cartografía); (2) diseño de estrategias de mitigación, que incluyen medidas de prevención como la planificación del uso del suelo y de protección a través de la construcción de obras de infraestructura; (3) manejo de la emergencia a través de la preparación y respuesta y (4) recuperación a corto y largo plazo (Serra Llobet *et al.*, 2016).

En este contexto, el mapa de riesgo no solo refleja la distribución espacial del peligro, sino que se convierte en un documento operativo que guía la toma de decisiones y la implementación de medidas de prevención y adaptación. La cartografía de riesgo constituye una herramienta clave en la gestión de inundaciones, al articular explícitamente la peligrosidad del fenómeno con las dimensiones de vulnerabilidad social, económica y patrimonial.

Mapas de riesgo como instrumentos clave en la gestión integral del riesgo en Argentina

En el año 2016, la creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo (SINAGIR) (Ley 27287/16) es un antecedente fundamental en la consideración del mapa de riesgo como un instrumento de gestión. En este marco se conformó la Red de Organismos Científico-Técnicos para la Gestión Integral del Riesgo (GIRCYT) dependiente del entonces Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación en la que el Instituto Geográfico Nacional (IGN) a través de su Infraestructura de Datos Espaciales actúa como la institución responsable de la integración de la información generada por la red. De esta manera, en el sitio web del IGN a través de una estructura de geoportal se ofrece un visualizador de amenazas en el territorio argentino para facilitar la gestión de la información en el marco de los protocolos interinstitucionales que se activan con la emisión de alerta desde el SINAGIR a pedido de las provincias. De acuerdo con el Plan Operativo del sistema, los municipios constituyen la primera línea de respuesta ante eventos adversos. En función de ello, se promueve que los gobiernos locales cuenten con mapas de riesgo actualizados. Por consiguiente, desde la ex Secretaría de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencias y Catástrofes se ha publicado el Manual para la elaboración de Mapas de Riesgo para brindar bases metodológicas

* Doctora en Geografía. Auxiliar docente en el Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (DGYT-UNS). paulazapperi@gmail.com

** Doctora en Ciencias Ambientales. Investigadora Adjunta en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). mancinomariana@gmail.com

al proceso de armado de documentos cartográficos que respondan a las “necesidades básicas de planeamiento” (Ministerio de Seguridad, 2017).

Cartografía y participación ciudadana ante un evento extremo: la respuesta a la inundación del 7 de marzo 2025 en Bahía Blanca

El 7 de marzo de 2025, la ciudad de Bahía Blanca fue escenario de un evento meteorológico extremo, caracterizado por un volumen de lluvia inusualmente elevado. Según datos registrados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), entre las 3 h y las 15 h de ese día se acumularon 290 mm de lluvia, con una intensidad promedio cercana a los 25 mm/h. De ese total, 210 mm cayeron entre las 3 h y las 9 h de la mañana, en un lapso de solo seis horas. Este volumen de precipitación no solo superó el récord histórico local (150,9 mm en 1975), sino que, por su magnitud e intensidad, se estima que corresponde a

un evento con un período de recurrencia superior a los 100 años (Saucedo, 2025). Los efectos de esta lluvia sobre la ciudad y su población pusieron de manifiesto la necesidad de contar con cartografía de riesgo que respalde las distintas acciones que requiere la gestión de este tipo de eventos. La inundación de los barrios ubicados junto al arroyo Napostá Grande (FIGURA 1) y al canal Maldonado, el anegamiento de áreas residenciales en las zonas más bajas de la ciudad, y los procesos erosivos que provocaron el socavamiento de calles con pendiente (FIGURA 2), pusieron en riesgo la vida de la población y exigieron, en muchos casos, tareas de evacuación de carácter inmediato.

En la fase de respuesta, los mapas se revelan como un instrumento esencial al posibilitar la identificación precisa de las zonas críticas, la definición de rutas de evacuación y la ubicación estratégica de los puntos de asistencia. En este sentido, en el contexto de emergencia del 7 de marzo en Bahía Blanca, la cartografía emergió como un recurso

clave para la gestión de la respuesta inmediata. De manera espontánea, surgieron iniciativas ciudadanas que, mediante plataformas digitales de cartografía colaborativa, permitieron georreferenciar tanto solicitudes de asistencia como ofrecimientos de ayuda solidaria, tal es el caso de Aguante Bahía (<https://aguantebahia.com/>) y la aplicación AutoFinder (<https://autos.bahia.help/>) que fue desarrollada para reportar autos o patentes vehiculares perdidas a causa de la inundación. A su vez, el municipio puso a disposición el sitio web oficial Asistencia Emergencia Bahía (<https://asistencia.emergenciabahia.com/>), con el fin de localizar puntos de ayuda para personas damnificadas, incorporando información geoespacial en tiempo real como insumo estratégico para la toma de decisiones operativas. Cabe señalar que la articulación entre información geográfica y participación ciudadana no resultó completamente novedosa en la ciudad, ya que existía un antecedente. Se trata de la aplicación de gestión del riesgo INUNDAp, desarro-

FIGURA 1. Inundación del sector que corresponde al tramo entubado del arroyo Napostá Grande



Fuente: Diario La Nación, viernes 7 de marzo 2025.

llada por un investigador del CONICET bajo un enfoque de ciencia ciudadana. Esta herramienta fue diseñada inicialmente para los habitantes de la cuenca del arroyo Sauce Corto (Sistema Ventania) y posteriormente adoptada también por la ciudadanía de Bahía Blanca (CONICET, 2018). Estas experiencias ponen de relieve el papel central de la cartografía —en especial, la cartografía digital y participativa— como herramienta clave para apoyar la acción humanitaria y como componente esencial de una gestión integral del riesgo que integre tanto dispositivos institucionales como dinámicas de autoorganización social. En este marco, desde la Universidad Nacional del Sur y a través de una iniciativa de voluntariado, se llevó a cabo un relevamiento en las márgenes del arroyo Napostá Grande y el canal Maldonado, con el objetivo de registrar de manera georreferenciada los daños sufridos y la altura alcanzada por el agua dentro de las viviendas. Con la participación

de 60 estudiantes, se tomaron puntos utilizando la aplicación Google Earth, y la información generada fue puesta a disposición de las autoridades responsables de las obras de reparación de la infraestructura hídrica de la ciudad. De este modo, los datos relevados no solo aportan a la etapa de recuperación a corto y mediano plazo, sino que también contribuyen a caracterizar el peligro de crecidas en estos cursos de agua.

Desde Instituto Nacional del Agua (Kazimierski *et al.*, 2025) sobre la base de información generada por otros organismos nacionales de ciencia y tecnología (IGN, SMN y SHN) se desarrolló un modelo hidrodinámico para identificar las zonas más afectadas y la dinámica del agua, principalmente en términos de velocidad. Es interesante señalar que la validación de los modelos se realizó con material compartido por la ciudadanía en redes sociales. Paralelamente, la iniciativa internacional Di-

saster Charter (formalmente conocida como International Charter on Space and Major Disasters), en colaboración con la CONAE, publicó imágenes satelitales de alta resolución espacial que mostraban con gran detalle las zonas que permanecían anegadas, incluso un día después de finalizadas las lluvias. Esta información fue utilizada por la plataforma abierta de datos espaciales de Argentina, Poblaciones.org, para elaborar un mapa de áreas afectadas, el cual fue consultado por organizaciones encargadas de distribuir donaciones.

De la emergencia a la planificación: una cartografía de riesgo con enfoque integral

Lo anteriormente expuesto da cuenta de los diversos recursos cartográficos elaborados para identificar áreas críticas y puntos de asistencia, así como para orientar la asignación de recursos y la rehabilitación de infraestructuras. A dos meses del evento, la ciudad en-

FIGURA 2. Colapso del pavimento de una avenida de circunvalación y socavamiento del terreno durante el evento de precipitación del 7 de marzo de 2025



Fuente: Diario La Nación.

frenta el desafío de reconstruirse en un contexto climático que evidencia su creciente exposición a fenómenos meteorológicos de intensidad cada vez mayor. En este sentido, las medidas de recuperación y prevención que se implementen —tanto estructurales (mejoras en los sistemas de drenaje, diques y obras hidráulicas) como no estructurales (actualización de códigos de edificación resiliente, establecimiento de protocolos de alerta temprana)— deberán contemplar los patrones de vulnerabilidad y exposición de la población, con el objetivo de fortalecer la resiliencia urbana a largo plazo. Existen antecedentes en cuanto a la caracterización del peligro de inundación y anegamiento en Bahía Blanca, ya sea desde ámbitos académicos (UTN-FRBB, 2018; Revollo *et al.*, 2025) como de gestión local (IDOM, 2017). No obstante, es fundamental la visión integral del territorio en el análisis de riesgo y su plasmación cartográfica. En este sentido, si se pretende que el mapa de riesgo funcione como un verdadero instrumento de planificación territorial orientado a la prevención, no puede limitarse a representar únicamente zonas afectadas por inundaciones o niveles de peligrosidad. Es fundamental incorporar dimensiones sociales, económicas y patrimoniales para construir una radiografía cartográfica integral del riesgo en territorios ya ocupados o destinados a usos permanentes. Se trata de una tarea compleja, que requiere enfoques metodológicos rigurosos y un trabajo necesariamente interdisciplinario. Aun así, los impactos recientes de lluvias extremas en Bahía Blanca y en el norte de la provincia de Buenos Aires evidencian con claridad la necesidad urgente de una ordenación del territorio basada en criterios de reducción de riesgos vinculados al cambio climático y a los peligros naturales. En este proceso, la cartografía cumple un rol central al integrar saberes técnicos y conocimientos locales, permitiendo tomar decisiones informadas sobre el uso del suelo y la protección de las comunidades expuestas ■

BIBLIOGRAFÍA

- Banco Mundial (2023). Gestión del riesgo de inundaciones en la Argentina: Un camino gradual hacia un enfoque integrado. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/results/2023/12/19/flood-risk-management-in-argentina-an-evolutionary-road-to-an-integrated-approach?utm>
- Banco Mundial (2025). Q&A: Gestión de Riesgos de Inundación en Argentina. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2025/03/10/gesti-n-de-riesgos-de-inundaci-n-en-argentina?utm>
- CONICET (2018). INUNDApp, una aplicación para prevenir inundaciones. <https://www.conicet.gov.ar/inundapp-una-aplicacion-para-prevenir-inundaciones/>
- De Luca, D. L., Ridolfi, E., Russo, F., Moccia, B., y Napolitano, F. (2024). Climate change effects on rainfall extreme value distribution: The role of skewness. *Journal of Hydrology*, 634, 130958. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130958>
- Gentili, J., Fernández, M., Zapperi, P., y Silva, A. (2018). Tecnología y extensión universitaria: los Sistemas de Alerta Temprana Colaborativos en la gestión del riesgo de inundación. +E: *Revista De Extensión Universitaria*, 8(8), 161-173. <https://doi.org/10.14409/extension.v8i8.Ene-Jun.7725>
- Gründemann, G. J., van de Giesen, N., Brunner, L., y otros. (2022). Rarest rainfall events will see the greatest relative increase in magnitude under future climate change. *Communications Earth & Environment*, 3, 235. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00558-8>
- IDOM, (2017). Estudios base para la Municipalidad de Bahía Blanca y Municipalidad de Cnel. Rosales, provincia de Buenos Aires. Componente 2: vulnerabilidad y riesgo de desastres. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/372064352/Gran-BB-Informe-Final-C2>
- Kazimierski, L; Re, M.; Sabarots Gerbc, M.; Ortiz, N.; Lagos, M. y Arrigoni, S. (2025). Herramientas para la comprensión de la dinámica de la inundación del 7 de marzo de 2025 en Bahía Blanca. Informe del equipo del Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua (INA). Recuperado de <https://repositorio.ina.gob.ar/bitstreams/e4e63ed0-d51d-466c-809a-97cc0d4a0d48/download>
- Ministerio de Seguridad de la Nación. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_para_la_elaboracion_de_mapas_de_riesgo.pdf
- Revollo, N; Gil, V. y Couto, F. (2025). Extreme Precipitation and Low-Lying Urban Flooding in Bahía Blanca, Argentina. *Atmosphere*, 16(5), 511. <https://doi.org/10.3390/atmos16050511>
- Saucedo, M. (2025). Informe especial de evento meteorológico 04 - 08 de marzo de 2025. Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado de <https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/2979>
- Serra-Llobet A.; Conrad E. y Schaefer K. (2016). Governing for Integrated Water and Flood Risk Management: Comparing Top-Down and Bottom-Up Approaches in Spain and California, *Water*, 2016, N° 8, p. 445-467
- Swiss Re (2016). Staying afloat. Flood Risk in Argentina. Recuperado de https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Swiss_Re_Argentina_Flood_Risk_Publ_long.PDF
- Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Bahía Blanca (UTN-FRBB) (2018). Proyecto Final Ingeniería Civil 2017/2018 Plan director: Estudio de Resiliencia Urbana frente a los Cambios Climáticos. Recuperado de https://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/info/secretarias/legal/institucional/informe_estudio_resiliencia_urbana.pdf
- Wasko, C., Nathan, R., Stein, L., y O'Shea, D. (2021). Evidence of shorter, more extreme rainfalls and increased flood variability under climate change. *Journal of Hydrology*, 603, 126970. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126970>

Eventos extremos de precipitaciones en ambientes semiáridos: El caso de Comodoro Rivadavia en 2017

José Matildo Paredes* y S. Mariela Ocampo**

¿Qué es un evento extremo de precipitaciones?

Un evento extremo de precipitaciones es la ocurrencia de un fenómeno meteorológico caracterizado por lluvias de gran intensidad, duración o acumulación de agua caída excepcionalmente alta, que supera ampliamente los valores normales o esperados para una región en un período determinado, y que puede generar impactos significativos como inundaciones, erosión o deslizamientos.

El contexto geográfico y climático de Comodoro Rivadavia

La ciudad de Comodoro Rivadavia, en el sureste de la provincia del Chubut (Patagonia central), está atravesada transversalmente por siete cuencas de drenaje efímero que desembocan en el océano Atlántico. Las cuencas se caracterizan por presentar pendientes elevadas, con valores entre 0,0027 y 0,0371 m/m a lo largo de los cauces principales, abarcando un área aproximada de 1.546 km² y con un desnivel altitudinal que va desde los 0 m s. n. m. en las desembocaduras hasta los 751 m en la divisoria de aguas, ubicada en la Pampa del Castillo (FIGURA 1). Los procesos de

FIGURA 1. Cuencas de drenaje y principales tributarios de los siete sistemas fluviales efímeros en torno a las ciudades de Comodoro Rivadavia y Rada Tilly



En color celeste claro se indican la ciudad de Comodoro Rivadavia y la localidad de Rada Tilly. Clave: 1. Cuenca del Arroyo La Mata, 2. Cuenca del Arroyo de la Quinta, 3. Cuenca de Km. 3, 4. Cuenca del Arroyo Belgrano, 5. Cuenca del Arroyo Restinga Ali, 6. Cuenca de Caleta Córdoba, 7. Cuenca del Cañadón Biggs. El recuadro muestra el área de cada cuenca. La estrella roja marca la ubicación de la estación meteorológica en el Aeropuerto General Mosconi. Modelo Digital de Elevación SRTM p229r092.

Fuente: modificado de Paredes et al. (2020).

erosión y sedimentación vinculados a la actividad intermitente de estos arroyos han modelado un paisaje de rasgos fluviales característicos en las cuencas de drenaje que rodean a Comodoro Rivadavia, donde se identifican patrones de canales entrelazados, márgenes con evidencias tanto de erosión como de acumulación, y meandros encajados. Hacia el oeste del área urbana, los tramos superiores de las cuencas constituyen actualmente zonas de desarrollo activo de hidrocarburos, con hasta 7.000 emplazamientos de pozos petroleros e instalaciones para el trans-

porte de petróleo. Además, numerosos barrios se encuentran ubicados en zonas llanas cercanas a las desembocaduras, en depresiones endorreicas, o en sectores con pendientes pronunciadas dentro de las cuencas, lo que confiere una peligrosidad inherente a estas urbanizaciones. Por ello, la ocurrencia de lluvias súbitas, abundantes y de alta intensidad que caen sobre laderas empinadas y con escasa cobertura vegetal favorecen el desarrollo de escorrentía superficial, en tanto que las modificaciones asociadas al desarrollo industrial en las áreas de

* Geólogo y Doctor en Geología. Profesor Titular de Sedimentología, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. paredesj@unpata.edu.ar

** Geóloga. Profesora Adjunta de Fotogeología y Teledetección, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. ocampomariela@gmail.com

cabeceras, y al desarrollo urbano en las zonas bajas, conduce a crecidas repentinas intensas.

La ciudad de Comodoro Rivadavia se emplaza en la zona costera, está sujeta a vientos fuertes del oeste (media 32 km/h) y presenta un clima semiárido, con marcado contraste térmico estacional. La estación meteorológica del Aeropuerto Enrique Mosconi registra una temperatura media anual de 13,5 °C, con la temperatura media más baja en julio (6,6 °C) y la más alta en enero (19,4 °C); los valores absolutos máximos y mínimos de temperatura en un registro de 61 años (1956-2017) son 40,2 °C y -8,5 °C, respectivamente. La precipitación media anual es de 240 mm, concentrándose principalmente en el invierno (abril a julio). Sin embargo, ni el promedio anual ni el promedio mensual representan adecuadamente el patrón de precipitaciones, caracterizado por lluvias escasas, localizadas y

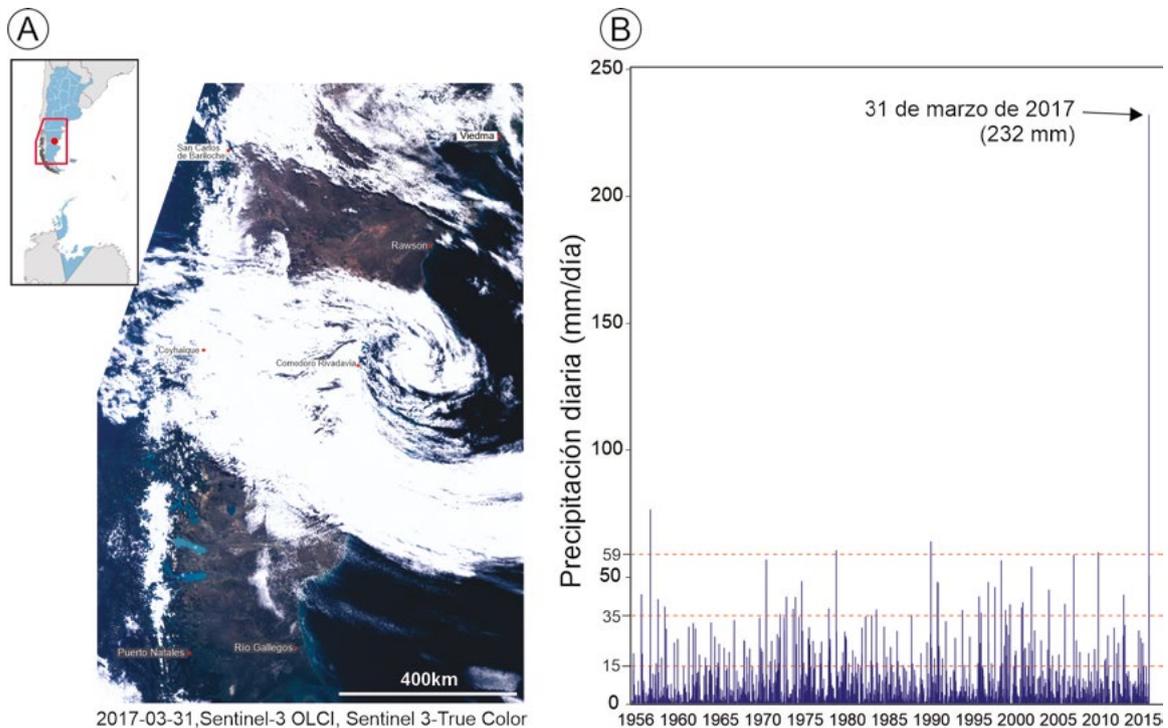
de alta intensidad, que concentran entre el 30% y el 40% de la precipitación anual en pocos días. La evapotranspiración potencial alcanza los 704 mm/año, lo que evidencia un déficit hídrico anual del orden de los 427 mm entre agosto y abril, lo cual conduce a una cobertura vegetal escasa, compuesta principalmente por plantas xerófitas. En base a registros históricos de lluvias en Comodoro Rivadavia provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para el período 1956-2017, se considera que un valor de precipitaciones diarias mayor a 59 mm es un evento extremo, mayor a 35 mm es muy intenso, y mayor a 15 mm es una lluvia intensa (FIGURA 2B).

Estas fueron las condiciones predominantes durante las últimas décadas, cuando las precipitaciones extremas de 2017 afectaron a las cuencas de drenaje y al ejido urbano de Comodoro Rivadavia.

La inundación de marzo-abril de 2017

A partir del 29 de marzo y durante la primera semana de abril de 2017, la ciudad de Comodoro Rivadavia experimentó las peores inundaciones de su historia debido a precipitaciones sin precedentes. Se produjeron daños masivos en propiedades e infraestructura como resultado de la inundación de siete cursos de agua efímeros que actualmente desembocan en el Océano Atlántico, atravesando zonas bajas de la ciudad. Este evento catastrófico fue provocado por lluvias persistentes que generaron una elevada escorrentía. Aunque la precipitación media anual en la ciudad durante el período 1956-2017 es de 240 mm, el evento extremo alcanzó un acumulado de 399,4 mm, registrándose 232 mm el 31 de marzo (FIGURA 2B).

FIGURA 2. Nubosidad durante el evento extremo y precipitaciones históricas en Comodoro Rivadavia.



(A) Imagen satelital del 31 de marzo de 2017, mostrando las condiciones de nubosidad asociadas al evento extremo de precipitaciones. Fuente: Sentinel-3 OLCI, Sentinel 3-True Color (B) Precipitaciones diarias en Comodoro Rivadavia (1956-2017), destacando la magnitud del evento extremo de 2017.

Fuente: elaboración propia en base a datos del SMN.

FIGURA 3. Impactos urbanos asociados al evento extremo de precipitaciones de marzo-abril de 2017.



(A) Taponamiento de pluviales urbanos por sedimento y residuos urbanos en la Avenida Roca, que condujo a inundaciones en la zona sur de la ciudad. (B) Depositación del sedimento transportado hacia depresiones sin salida dentro del ejido urbano (Zona Sur), cuya limpieza demandó casi dos meses luego del temporal. (C) Ensanchamiento de arroyos efimeros, produciendo el colapso de viviendas emplazadas en los márgenes de los cauces. Arroyo de Restinga Alí. (D) Formación de cárcavas profundas en áreas urbanas de alta pendiente. Avenida Fray Luis Beltrán, cuenca de Km. 3.

Fuente: fotografías gentileza de David Alejandro Muñoz.

Además, las lluvias intensas superaron la capacidad de infiltración del suelo en los primeros días del evento, generando procesos de erosión por salpicadura y escurrimiento superficial, que aportaron altas concentraciones de sedimentos en suspensión a los cursos de agua. La incorporación adicional de sedimentos provenientes de caminos, instalaciones petroleras, de canteras de áridos locales y desechos urbanos e industriales incrementó la energía cinética y el caudal del flujo hacia zonas más bajas. Aunque una parte del sedimento fue depositado por desborde dentro de la red de drenaje, una proporción significativa alcanzó los cursos de mayor orden e ingresó a la ciudad, ya sea por sus cauces naturales (arroyos Belgrano, La Mata y de la Quinta) o por rutas nuevas producto del colapso de la red de pluviales por taponamiento. La avulsión de los cauces efímeros dio lugar a la inundación masiva de áreas bajas urbanas (FIGURA 3A-B), donde se redujo la velocidad del flujo y se produjo la deposición de sedimentos en suspensión, que en sectores alcanzó más de 1 m de espesor (Hirtz y Griznik, 2019). El flujo restante y sus sedimentos alcanzaron la costa, formando deltas transitorios de hasta 500 m de diámetro (Paredes *et al.*, 2020). Debido a las descargas excepcionales, se produjo el ensanchamiento y profundización de canales en la mayoría de los cursos de mayor orden. Por ejemplo, el arroyo Restinga Alí presentó desplazamientos laterales de margen de canal de hasta 70 m cerca de

su desembocadura, afectando urbanizaciones establecidas en sus márgenes (FIGURA 3C). Las pendientes favorecieron la alta velocidad de escorrentía y la iniciación de cárcavas durante la tormenta; debido a la alta intensidad de la precipitación, algunas cárcavas alcanzaron hasta 15 m de profundidad y 870 m de longitud. Estas cárcavas excavaron sedimentos sueltos y generaron cauces en forma de “V” en los que sus taludes laterales se degradaron rápidamente, aportando grandes volúmenes de sedimentos a los cauces, desarrollándose incluso en avenidas dentro del ejido urbano (FIGURA 3D).

Perspectivas

El evento de precipitación extrema de 2017 dejó enormes daños en la infraestructura urbana e industrial y evidenció la falta de planificación a escala de cuenca. Aunque los organismos científicos visualizaron la problemática urbana, social y técnica (Paredes, 2019), las medidas de mitigación realizadas son insuficientes para reducir el impacto de eventos extremos futuros en la población más vulnerable, y en la mayoría de los casos no se realizaron mejoras en las zonas impactadas. Entre los aspectos que requieren mayor atención de autoridades gubernamentales, especialmente luego de los eventos de sequía de los años 2020-2022 (tres años consecutivos con impactos del evento La Niña), son: 1) La mayoría de los cauces efímeros en la zona periurbana

ubicada al oeste de la ciudad contienen actualmente grandes volúmenes de sedimentos sueltos dentro de los canales secos, por lo que es necesario construir reservorios de sedimentos de las cuencas más inestables para disminuir tanto el tránsito de partículas durante las lluvias como la velocidad del flujo al ingreso a la ciudad; 2) Los pluviales urbanos, emplazados sobre antiguos cauces dentro de la ciudad, resultaron sub-dimensionados y pudieron evacuar solo el 20% del flujo durante el evento extremo de 2017; con posterioridad al evento no se han elaborado proyectos ejecutivos que contemplen el aumento de la capacidad hidráulica de los pluviales existentes, o la realización de pluviales adicionales; y 3) La ciudad de Comodoro Rivadavia se encuentra actualmente bajo una presión significativa debido al efecto combinado de controles geomorfológicos heredados, la modificación antropogénica de los patrones de precipitación y temperatura que conducen a inundaciones, y el rápido crecimiento urbano hacia áreas de mayor vulnerabilidad ambiental; y, 4) El uso industrial del suelo en las áreas de explotación petrolera ha conducido a degradación sostenida del paisaje natural y a la deforestación a escala de cuenca de drenaje, resultando necesario minimizar la erosión del suelo y la iniciación de cárcavas a través de prácticas más responsables que respeten la geomorfología fluvial.

BIBLIOGRAFÍA

- Hirtz N. R. y Griznik, M. (2019) El bajo anegadizo del suroeste de la ciudad: su evolución desde la salinización a la inundación de marzo-abril de 2017. En Paredes, J. M. (Compilador) *Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017: visiones múltiples para una ciudad en riesgo*. (pp. 49-59). Editorial Universitaria de la Patagonia.
- Paredes, J. M. (2019). *Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017: visiones múltiples para una ciudad en riesgo* [comp.]. Editorial Universitaria de la Patagonia.
- Paredes, J. M., Ocampo, Foix, N., Olazábal, S. X., Valle, M. N., Montes, N. y Allard, J. O. (2020). Precipitaciones extremas e inundaciones repentinas en ambiente semiárido: impactos del evento de marzo-abril de 2017 en Comodoro Rivadavia, Chubut. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 77 (2): 294-316. <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/10>

Gestión de los riesgos volcánicos en la República Argentina

Sebastian E. Garcia*

Vulcanismo en Argentina

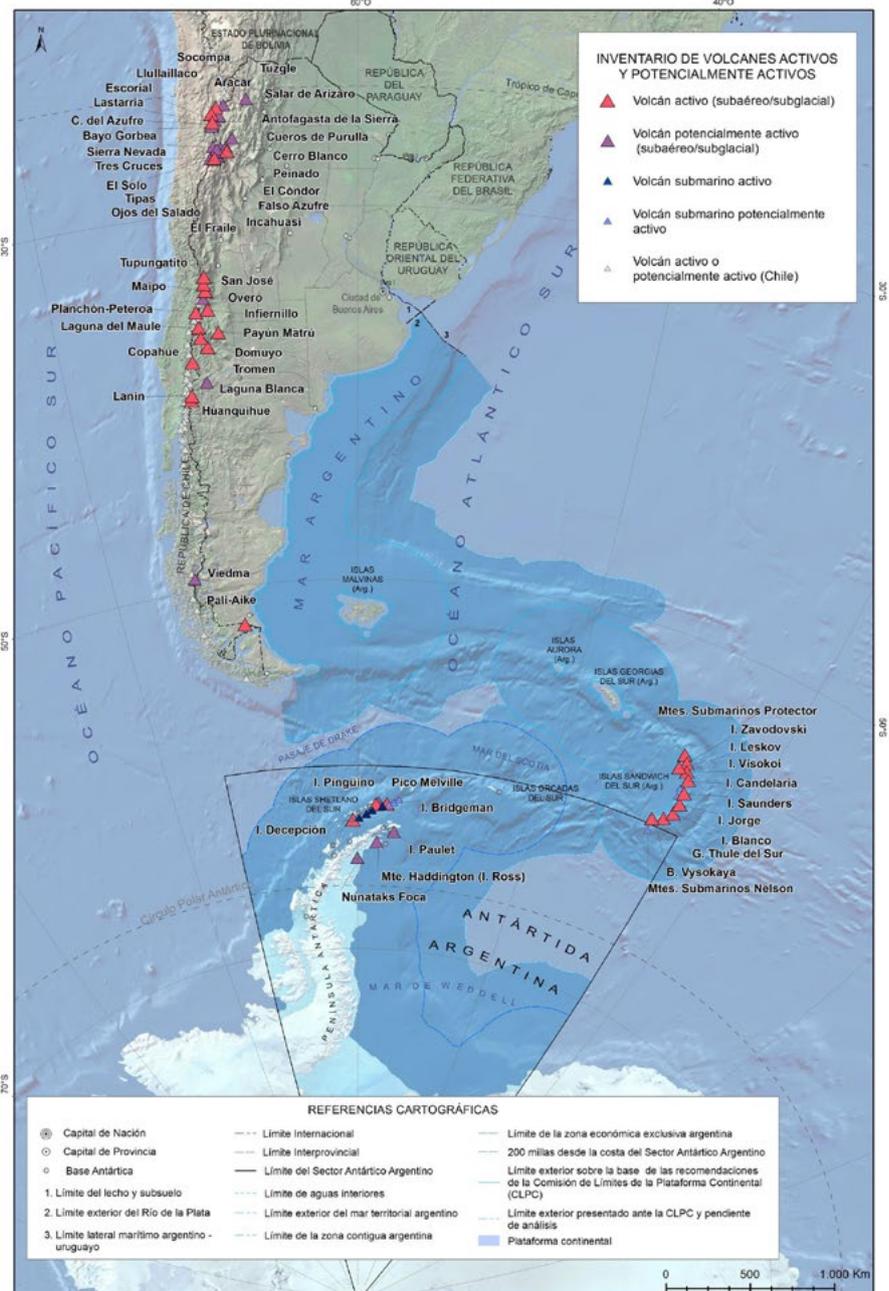
Debido a su vasta extensión, nuestro país presenta una notable diversidad de paisajes y morfologías. Esto se refleja en la variedad de volcanes que alberga su territorio. Argentina es un país flanqueado hacia el oeste por la imponente Cordillera de los Andes, una extensa cadena montañosa de orientación norte-sur que se extiende por unos 7.500 km a lo largo del continente americano. Muchos de los picos de esta cadena montañosa corresponden a volcanes. Algunos de ellos no tienen actividad desde hace millones de años y otros han entrado en actividad en tiempos geológicos recientes (durante los últimos 10.000 años), por lo cual son considerados volcanes activos. A su vez, hacia el sur, en la Antártida y áreas subantárticas, se reconocen dos zonas volcánicas con frecuentes erupciones: las Islas Shetland del Sur y las Islas Sandwich del Sur.

Los volcanes generan asombro y atraen a millones de personas, ya que sus suelos fértiles y paisajes los convierten en lugares habitables. Sin embargo, sus erupciones pueden poner en riesgo vidas, infraestructuras y economías. Se estima que 800 millones de personas viven a menos de 100 km de volcanes activos en todo el mundo (Loughlin et al., 2015). En este contexto, aunque muchos lo desconocen, Argentina está entre los 10 países con más volcanes activos del mundo (Global Volcanism Program, 2024), con un total de 38 volcanes considerados activos o potencialmente activos en la parte continental americana, 14 volca-

nes en el Sector Antártico y 13 en las islas Sándwich del Sur, de acuerdo con el Ranking de Riesgo Volcánico para la República Argentina (Elissondo y Farias, 2024), elaborado de forma con-

junto entre el SEGEMAR (Servicio Geológico y Minero Argentino) y el SMN (Servicio Meteorológico Nacional) (FIGURA 1).

FIGURA 1. Inventario de sistemas volcánicos activos y potencialmente activos de la República Argentina



Fuente: Elissondo y Farias (2024).

* Licenciado en Ciencias Geológicas, Director del Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

sebastian.garcia@segemar.gov.ar

En este listado, encontramos una gran diversidad de volcanes, incluyendo algunos de gran altitud, como el Ojos del Salado, considerado el más alto del mundo con 6.879 m s.n.m, y otros con lagunas ácidas y de alta temperatura, como el Copahue (FIGURA 2) y el Tupungatito. A su vez, se presentan distintas morfologías, entre ellas los estratovolcanes con su característica forma cónica, como el reconocido volcán Lanín, ubicado en la provincia del Neuquén, el cual está representado en el escudo provincial y que da nombre a uno de los parques nacionales más antiguos del país, así como extensos volcanes en escudo, como el volcán Payún Matrú, en el sur de la provincia de Mendoza.

El volcán Copahue, ubicado en la provincia del Neuquén, es el más activo de nuestro país. A sus pies se encuentran las localidades turísticas de Caviahue y Copahue, situadas a 5 y 9 km

del cráter activo, respectivamente. Su último ciclo eruptivo se inició el 22 de diciembre de 2012, con la generación de una columna eruptiva que alcanzó los 1.500 m sobre el cráter y se dispersó hacia el este-sudeste.

Riesgo volcánico en Argentina

Los volcanes ubicados en Argentina, al igual que en gran parte de la cordillera de los Andes, se caracterizan por generar erupciones de tipo explosivo con extensas columnas eruptivas que eyectan material piroclástico (ceniza volcánica) a la atmósfera, las cuales en muchas oportunidades recorren una gran distancia desde el centro de emisión, principalmente hacia el este, producto de los vientos predominantes en la cordillera de los Andes.

En los últimos 100 años, numerosas erupciones han afectado el territorio argentino, tanto de volcanes nacio-

nales como de chilenos, causando serios impactos en la población y significativas pérdidas económicas y materiales (Elissondo *et al.*, 2016; Caselli *et al.*, 2016). Algunos de los eventos más destacados incluyen las erupciones del Quizapu (1932), Láscar (1986–1993), Hudson (1991), Chaitén (2008), Planchón-Peteroa (1991, 2011, 2018), Cordón Caulle (2011), Copahue (2012) y Calbuco (2015). A su vez, los registros estratigráficos evidencian la ocurrencia en el pasado de erupciones mayores, con capacidad de afectar a escala local, regional y hemisférica, como es el caso de la erupción riolítica del Complejo Volcánico Cerro Blanco, ocurrida hace aproximadamente 4410 años (Báez *et al.*, 2020), en la actual provincia de Catamarca.

De acuerdo al Ranking de Riesgo volcánico para la República Argentina, el 58% de los volcanes activos del país se encuentran en la región del Noroeste

FIGURA 2. Volcán Copahue



Argentino (NOA), con un (1) volcán en la provincia de Jujuy, seis (6) volcanes en la provincia de Salta y quince (15) volcanes en la provincia de Catamarca. Esto es seguido por la región Patagonia, con un 22% de los volcanes activos, siete (7) en la provincia de Neuquén, y dos (2) en la provincia de Santa Cruz. Finalmente, siete (7) volcanes se ubican en la provincia de Mendoza, representando un 20% para la región de Cuyo (Elissondo y Farias, 2024) (TABLA 1).

Aunque la dispersión y caída de ceniza usualmente no generan pérdida de vidas humanas, estas pueden tener importantes efectos socio-económicos y ambientales y presentar una gran amenaza para la seguridad de la aeronavegación (Elissondo *et al.*, 2016). Un ejemplo icónico de esto fue la erupción explosiva del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle el 4 de junio de 2011, que desencadenó la evacuación espontánea de aproximadamente 4000 habitantes de Villa La Angostura, ubicada a 50 km de distancia hacia el sudeste (Elissondo *et al.* 2016). La nube y la caída de cenizas asociadas también llegaron a las ciudades de Villa Trful, San Carlos de Bariloche e incluso a Buenos Aires, obligando al cierre de aeropuertos locales y a la cancelación de vuelos, generando enormes pérdidas económicas. El tráfico terrestre también se vio afectado en múltiples escalas producto de la caída de tefra, incluso provocando el cierre del paso fronterizo internacional Cardenal Samoré durante casi tres meses. Otros impactos asociados con la acumulación de tefra incluyeron: colapso de decenas de techos precarios, obstrucción de los sistemas de drenaje urbano, contaminación de los suministros de agua e interrupción del suministro eléctrico (Craig *et al.*, 2016; Elissondo *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 2013). Los impactos en la agricultura, la ganadería y los ecosistemas también fueron severos, e incluyeron la cobertura de tierras agrícolas, provocando escasez de agua y forraje para los animales, y resultando en la pérdida de animales, disminución en

TABLA 1. Ranking de riesgo volcánico relativo

NIVEL	N°	NOMBRE	UBICACIÓN	PROVINCIA	RVR	IP	IE	RAV	U
MUY ALTO	1	Copahue	Arg-Chile	Neuquén	160,747	13	12,365	21,965	3
	2	Planchón-Peteroa	Arg-Chile	Mendoza	146,232	15	9,749	34,947	2
	3	Lanín	Arg-Chile	Neuquén	133,046	11	12,095	29,039	1
	4	Laguna del Maule	Arg-Chile	Mendoza/Neuquén	132,998	14	9,500	35,051	3
	5	Cerro Blanco	Argentina	Catamarca	131,159	13	10,089	34,835	3
	6	Tupungatito	Arg-Chile	Mendoza	124,933	12	10,411	24,138	2
ALTO	7	Maipo	Arg-Chile	Mendoza	100,113	9	11,124	12,026	1
	8	San José	Arg-Chile	Mendoza	91,214	9	10,135	12,069	2
	9	Socompa	Arg-Chile	Salta	88,988	10	8,899	23,595	2
	10	Tromen	Argentina	Neuquén	84,918	9	12,131	16,474	1
MODERADO	11	Lastarria	Arg-Chile	Catamarca/Salta	65,501	9	7,278	17,027	3
	12	Domuyo	Argentina	Neuquén	64,853	6	10,809	9,711	3
	13	Tuzgle	Argentina	Jujuy	63,642	5	12,728	12,020	1
	14	Pali Aike	Arg-Chile	Santa Cruz	59,017	5	11,803	11,304	0
	15	Payún Matrú	Argentina	Mendoza	53,997	5	10,799	16,548	0
	16	Overo	Argentina	Mendoza	50,819	5	10,164	12,041	1
	17	Huanquihue	Argentina	Neuquén	46,504	5	9,301	18,508	0
	18	Llullaillaco	Arg-Chile	Salta	40,055	6	6,676	17,027	0
BAJO	19	Viedma	Argentina	Santa Cruz	28,361	3	9,454	5,281	0
	20	Cueros de Purulla	Argentina	Catamarca	27,295	3	9,098	5,934	0
	21	Ojos del Salado	Arg-Chile	Catamarca	27,216	5	5,443	7,196	1
	22	El Fraile	Arg-Chile	Catamarca	25,845	4	6,461	7,232	1*
	23	El Cóndor	Argentina	Catamarca	22,292	3	7,431	3,598	0
	24	Tres Cruces	Arg-Chile	Catamarca	20,771	4	5,193	7,181	0
	25	Infiernillo	Argentina	Mendoza	20,046	3	6,682	0,000	0
	26	Cordón del Azufre	Arg-Chile	Catamarca	19,248	3	6,416	5,638	1
	27	Falso Azufre	Arg-Chile	Catamarca	19,233	3	6,411	3,598	1
	28	Bayo Gorbea	Arg-Chile	Catamarca	18,875	3	6,292	5,593	1
MUY BAJO	29	Laguna Blanca	Argentina	Neuquén	16,381	2	8,190	0,000	0
	30	Peinado	Argentina	Catamarca	14,511	2	7,256	3,612	0
	31	Aracar	Argentina	Salta	13,952	2	6,976	5,976	0
	32	Tipas	Argentina	Catamarca	13,036	2	6,518	4,615	0
	33	Antofagasta	Argentina	Catamarca	11,827	2	5,913	0,000	0
	34	Sierra Nevada	Arg-Chile	Catamarca	8,748	2	4,374	3,596	1*
	35	Incahuasi	Arg-Chile	Catamarca	8,473	1	8,473	4,616	0
	36	Escorial	Arg-Chile	Salta	8,353	1	8,353	5,876	0
	37	El Solo	Arg-Chile	Catamarca	5,200	1	5,200	3,598	0
	38	Salar de Arizaro	Argentina	Salta	2,301	1	2,301	0,000	0

Resultados de la evaluación de riesgo volcánico relativo ordenados de mayor a menor valor de riesgo. NIVEL: nivel de riesgo, N°: posición dentro del ranking, RVR: riesgo volcánico relativo, IP: índice de peligrosidad; IE: índice de exposición, RAV: riesgo relativo de la aviación, U: unrest. *No comprobado. (Elissondo y Farias, 2024).

las tasas de natalidad y aumento de la depredación. Más de diez años después, las comunidades y ecosistemas afectados por esta erupción aún se encuentran en recuperación (Craig *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 2013).

De esta forma, Argentina presenta una situación particular con respecto al riesgo volcánico. Si bien la densidad poblacional y la infraestructura en general son bajas en torno a los sectores cercanos a los volcanes activos, existe distinto grado de exposición a los riesgos volcánicos a lo largo del país. Sin

embargo, existe una muy baja percepción en la sociedad argentina a nivel nacional sobre los riesgos de origen volcánico y su potencial afectación en el territorio nacional.

Aunque las erupciones volcánicas no pueden detenerse, es posible pronosticar su ocurrencia a través del monitoreo volcánico, dando aviso a las autoridades y la población. En este contexto, una sociedad con un bajo conocimiento sobre estos fenómenos naturales es más vulnerable a ser afectada por estas amenazas cuando ocu-

ren. Por ello, es de vital importancia que la población argentina esté informada sobre los volcanes activos de su país y acerca del monitoreo, estudios de peligrosidad y trabajos de divulgación sobre los riesgos volcánicos que lleva adelante el SEGEMAR.

Monitoreo y alertas volcánicas

Las erupciones volcánicas generalmente suelen estar precedidas por señales de “intranquilidad” (unrest) que pueden detectarse mediante las redes de monitoreo instrumental. Estas señales, tales como sismos, deformación del edificio volcánico, aumento de la actividad superficial o cambios en los sistemas hidrotermales, posibilitan la generación de alertas tempranas para dar aviso a las autoridades y la población.

Monitorear o vigilar un volcán implica estar atento a las señales que este produce y analizarlas para conocer su comportamiento y tratar de pronosticar la ocurrencia de una erupción con la mayor certeza posible. El monitoreo volcánico se realiza mediante la instalación de equipamiento específico sobre un volcán y/o mediante el uso de sensores remotos (Guffanti *et al.*, 2010). Esto permite la observación continua y permanente a través de di-

versos métodos visuales e instrumentales de los distintos parámetros que caracterizan la dinámica interna del volcán. Estos parámetros se analizan a lo largo del tiempo con la finalidad de detectar oportunamente cambios en la actividad volcánica y, de ser posible, anticipar alguna condición anómala precursora de un proceso eruptivo.

En Argentina el monitoreo volcánico es llevado adelante por el SEGEMAR a través del Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), mientras que la presencia de ceniza en la atmósfera y su pronóstico de dispersión son llevados adelante por el SMN, quien da aviso a la aeronavegación a través del Centro de Avisos de Ceniza Volcánica (VAAC) y a la población civil a través de la Dirección de Pronósticos y Servicios para la Sociedad.

A su vez, debido a que Argentina comparte múltiples volcanes con Chile, ha sido fundamental el desarrollo de convenios de cooperación internacional para dar respuesta a esta problemática. Es así como en el año 2013 se firmó un importante acuerdo Binacional entre Chile y Argentina para el control, monitoreo y gestión de las erupciones volcánicas en la región fronteriza entre ambos países, ratificado en el año 2016 a través de la firma de un conve-

nio marco de cooperación y asistencia técnica entre los servicios geológicos de ambos países.

De esta forma, a partir de la información recibida de las distintas redes instrumentales instaladas en el país (FIGURA 3) y de las redes de monitoreo de los volcanes de Chile, los profesionales del OAVV del SEGEMAR realizan el monitoreo continuo (24/7), utilizando las principales metodologías aplicadas al monitoreo volcánico a nivel mundial, incluyendo: sismología, geodesia, geoquímica, monitoreo visual y a través de sensores remotos.

Con esta información, el OAVV del SEGEMAR previene sobre el nivel de actividad de un volcán a través de la emisión de alertas técnicas y la generación de Reportes de Actividad Volcánica (RAV) y Reportes Especiales de Actividad Volcánica (REAV), de acuerdo a un semáforo de alertas volcánicas (FIGURA 4), el cual va modificando sus colores dependiendo del nivel de actividad del volcán. Siendo publicados a través del sitio web del OAVV (<https://oavv.segemar.gov.ar/>) y mediante el Sistema Nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias (SINAME) del SINAGIR.

Estas actividades de gestión de los riesgos volcánicos en la República

FIGURA 3. Estación de multiparamétrica de monitoreo volcánico del OAVV del SEGEMAR instalada en el volcán Lanín



Fuente: SEGEMAR.

Argentina se realizan en el marco Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil (SINAGIR), creado a partir de la Ley N° 27.287 del año 2016.

Asimismo, existen diversos organismos científico-técnicos que brindan información indispensable para la gestión del riesgo volcánico en el país, como el Instituto Geográfico Nacional (IGN), la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), la Administración de Parques Nacionales (APN) y la Dirección Nacional de Emergencias y Desastres Agropecuarios (DNRyEA), así como también las Universidades Nacionales y grupos de investigación vinculados a CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). Todos estos organismos interactúan y coordinan sus actividades a través de la Red de Organismos Científico-Técnicos para la Gestión Integral del Riesgo (Red GIRCyT) y articulan sus actividades durante una emergencia de origen volcánico a través del “Protocolo Interinstitucional de Gestión de Información Ante la Amenaza De Actividad Volcánica”.

Esta información busca presentar -tanto a autoridades, a los organismos que

FIGURA 4. Niveles de alerta técnica volcánica para la República Argentina emitidos por el OAVV

ALERTA VERDE	ALERTA AMARILLA	ALERTA NARANJA	ALERTA ROJA
Volcán Activo con comportamiento estable Sin riesgo inmediato.	Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica	Probable erupción mayor o retorno después de etapa eruptiva	Erupción Mayor Inminente o en curso
Reportes Mensuales	Reportes Quincenales	Reportes Diarios	Reportes Diarios
			

Fuente: SEGEMAR.

forman parte del SINAGIR y a la comunidad en general-, información precisa sobre el estado de actividad de los distintos volcanes que puedan afectar el territorio argentino y los pronósticos de proceso eruptivos y dispersión de ceniza en atmósfera, contribuyendo de esta manera a salvaguardar la seguridad de las comunidades que puedan verse afectadas producto de la erupción de un volcán. A su vez,

esto debe verse complementado por la generación de planes operativos de emergencia ante la ocurrencia de actividad volcánica, y recomendaciones a la población sobre cómo actuar ante este tipo de eventos.

BIBLIOGRAFÍA

- Báez, W., Bustos, E., Chiodi, A., Reckziegel, F., Arnosio, M., De Silva, S., Giordano, G., Viramonte, J., Sampietro-Vattuone, M., y Peña-Monné, J., (2020). Eruptive style and flow dynamics of the pyroclastic density currents related to the Holocene Cerro Blanco eruption (Southern Puna plateau, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 98, 1-20. ISSN: 0895-9811.
- Caselli, A.T., Agosto, M., Velez, M.L., Forte, P., Bengoa, C., Daga, R., Albite, J.M., y Capaccioni, B., (2016). En Tassi, F., Vaselli, O., Caselli, A.T. The 2012 eruption. *Copahue Volcano, Active Volcanoes of the World*, 61-77. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Craig, H. M., Wilson, T. M., Stewart, C., Outes, V., Villarosa, G., y Baxter, P. J. (2016). Impacts to agriculture and critical infrastructure in Argentina after ashfall from the 2011 eruption of the Cordón Caulle volcanic complex: An assessment of published damage and function thresholds. *Springer; Journal of Applied Volcanology* 5(1), 1-31.
- Elissondo, M., Baumann, V., Bonadonna, C., Pistolesi, M., Cioni, R., Bertagnini, A., Biass, S., Herrero, J. C. y Gonzalez, R., (2016). Chronology and impact of the 2011 Cordón Caulle eruption, Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16(3), 675-704.

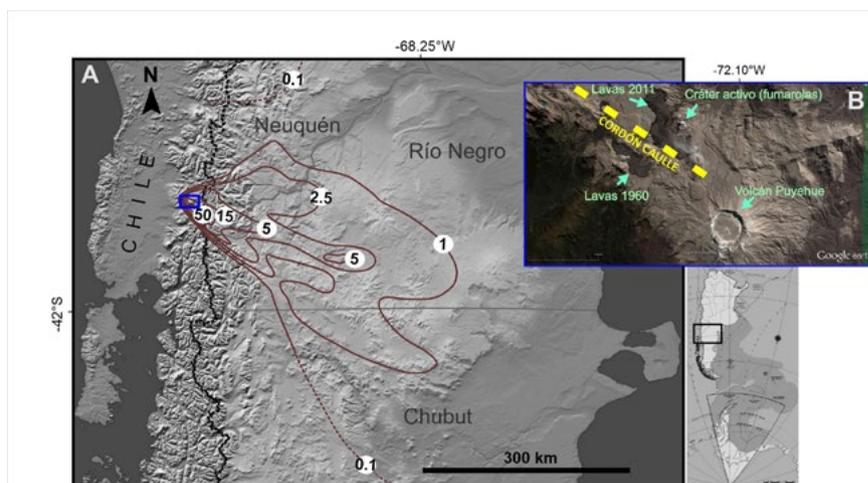
- Elissondo M. y Farías C., (2024). Riesgo Volcánico Relativo en Territorio Argentino. *Serie Contribuciones Técnicas. Peligrosidad Geológica*, 28. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires. ISSN 2618-5024.
- Guffanti, M., Diefenbach, A.K., Ewert, J.W., Ramsey, D.W., Cervelli, P.F., y Schilling, S.P., (2010). Volcano-monitoring instrumentation in the United States, 2008: U.S. Geological Survey. *Open-File Report* 2009-1165.
- Global Volcanism Program (21 de octubre de 2024). Volcanoes of the World (v.5.2.4;) [Base de Datos]. Smithsonian Institution, por Venzke, E.
- Loughlin, S. C., Sparks, R. S. J., Brown, S. K., Jenkins, S. F., y Vye-Brown, C., (2015). *Global volcanic hazards and risk*. Cambridge University Press.
- Wilson, T., Stewart, C., Bickerton, H., Baxter, P., Outes, V., Villarosa, G., y Rovere, E. (2013). Impacts of the June 2011 Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex eruption on urban infrastructure, agriculture and public health. *GNS Science Report*.

La erupción del Cordón Caulle 2011 y su impacto en patagonia norte: efectos derivados de las caídas de ceniza y procesos asociados

Débora Beigt*, Gustavo Villarosa**, Valeria Outes***, Nahuel Losano****, Pablo A. Salgado***** y Pablo Amat*****

El Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (CVPCC, FIGURA 1) es un sistema volcánico localizado en territorio chileno a unos 54 km de Villa La Angostura y a 75 km de San Carlos de Bariloche. El Cordón Caulle (CC), un sistema fisural dentro de este conjunto de volcanes, ha producido todas las erupciones de este complejo durante el último siglo (1921-1922, 1960 y 2011), caracterizadas por su alta explosividad y grandes volúmenes de material emitido, cubriendo con depósitos de tefra¹ extensas superficies de la Patagonia argentina. Los impactos de la erupción de 2011 sobre las poblaciones patagónicas, sin embargo, fueron significativamente mayores a los de erupciones anteriores, dada la intensa ocupación de la región durante las últimas décadas.

FIGURA 1. Detalle del centro eruptivo CVPCC y distribución de los depósitos de tefra 2011



A) Mapa isopáquico³ del espesor (cm) del depósito de caída de cenizas de la erupción del Cordón Caulle 2011. B) Ubicación del cráter activo dentro del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle.

Fuente: elaboración propia con base en mediciones directas de espesores de la tefra 2011.

* Doctora en Geografía, Investigadora Independiente CONICET, Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (CONICET/UNCo). Profesora adjunta, Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche. dbeigt@comahue-conicet.gov.ar

** Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Principal CONICET, Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (CONICET/UNCo). Profesor adjunto, Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche. villarosag@comahue-conicet.gov.ar

*** Licenciada en Ciencias Geológicas, Profesional Principal CONICET, Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (CONICET/UNCo). outesv@comahue-conicet.gov.ar

**** Geólogo, Becario Doctoral CONICET, Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (CONICET/UNCo). nlosano@comahue-conicet.gov.ar

***** Doctor en Ciencias Geológicas, Becario Postdoctoral CONICET, Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (CONICET/UNCo). Jefe de Trabajos Prácticos, Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche. pabloagustinsalgado@comahue-conicet.gov.ar

***** Licenciado en Ciencias Geológicas, Becario Doctoral CONICET, Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (CONICET/UNCo). pabloamat@comahue-conicet.gov.ar

El evento de 2011

La última erupción del CC se inició el 4 de junio de 2011, luego de un incremento en la actividad sísmica a partir del 27 de abril. Este primer pulso explosivo produjo una columna eruptiva con grandes volúmenes de material piroclástico² que ascendió a niveles altos de la atmósfera, generando una pluma volcánica que se dirigió hacia el este arrastrada por los vientos dominantes en la región. A tan sólo horas de iniciada la erupción, las localidades de Villa La Angostura, Villa Traful y San Carlos de Bariloche fueron alcanzadas por la caída de cenizas volcánicas. Este pulso eruptivo generó depósitos de tefra en el entorno de decenas a cientos de kilómetros del volcán.

Hasta fines de 2011, se produjo una emisión casi continua de material piroclástico que fue transportado principalmente hacia la Argentina. La tefra resultante de la erupción cubrió unos 520.000 km² en el continente (Villarosa y Outes, 2013), con espesores que superaron los 50 cm en sectores proximales del territorio argentino. El registro de espesores del depósito en más de 400 puntos de muestreo y el establecimiento de una red de colección de muestras frescas y de caída directa en distintas localidades desde el inicio del evento permitieron el desarrollo de insumos clave para la gestión de la emergencia volcánica y la caracterización de los productos volcánicos del CC. Ello aportó significativamente a

la identificación de tefras de este volcán en el registro geológico y a la reconstrucción de su historia volcánica, contribuyendo a la evaluación de su peligrosidad para la región.

La FIGURA 1 muestra el mapa isopáquico del depósito de caída elaborado a partir de la medición directa de espesores de tefra, que permitió delimitar y cuantificar la afectación del territorio argentino por los distintos pulsos de la erupción. Para caracterizar al material emitido en esta erupción se analizó la composición química del vidrio volcánico que se produce por enfriamiento muy rápido del magma. Los piroclastos analizados se clasificaron como de composición riolítica⁴, sin variaciones composicionales significativas entre muestras de ambientes proximales, medios y distales (Villarosa *et al.*, 2023). Los ensayos de lixiviación permitieron determinar el contenido de flúor soluble en las muestras de ceniza, cuyos resultados (en el rango <10mg-100mg/kg de ceniza) fueron concordantes con valores obtenidos a nivel mundial para otros volcanes de similares características. La erupción ocurrió en la estación húmeda, lo que facilitó la dilución de sustancias lixivias, permitiendo una rápida disminución de la concentración de flúor y consiguientemente de la potencial toxicidad para personas y animales a partir de la ingesta de aguas y pastizales contaminados. Estos resultados constituyen un antecedente de referencia para otros eventos volcánicos que involucren caídas de ceniza en la región.

Procesos derivados de las caídas de ceniza del CC 2011

La erupción del CC 2011 afectó severamente a Patagonia Norte cubriéndola de un material granular, no consolidado, susceptible de ser erosionado y removilizado por agentes hídricos y eólicos, y por fenómenos gravitacionales. Estos procesos se registraron durante varios años posteriores a la erupción, y algunos de ellos seguirán actuando hasta que se alcance un nuevo equilibrio en el paisaje.

En particular, se analizó la situación en las cuencas hídricas donde la deposición repentina de grandes cantidades de material piroclástico produjo importantes modificaciones en sus condiciones de equilibrio, resultando en numerosos fenómenos de disturbio que incluyeron (i) eventos de removilización, desborde de cauces y flujos densos, (ii) modificaciones en las redes de drenaje, (iii) progradación y deslizamientos en los frentes deltaicos.

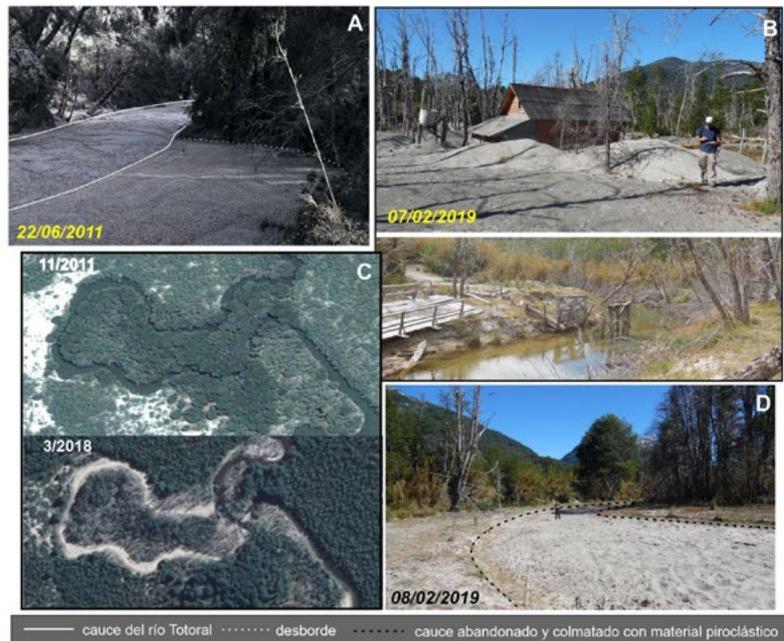
(i) Durante el evento eruptivo, el material pumíceo⁵ emitido, muy poroso y liviano, alcanzó cursos fluviales activos ubicados a más de 50 km del centro eruptivo. Por su flotabilidad positiva, la incorporación repentina de grandes volúmenes de este material durante lluvias copiosas condujo al desborde de las corrientes fluviales que lo transportaban (FIGURA 2A). En los meses de primavera y verano posteriores a la erupción, con el derretimiento del paquete níveo que se mezclaba con las

cenizas saturadas en agua, se registraron flujos densos cargados de este material volcánico a lo largo de distintos cauces. Estos flujos reciben el nombre de lahares y, dada su elevada densidad y movilidad, pueden resultar muy dañinos en su trayectoria.

(ii) Arroyos severamente afectados por la caída y removilización de material piroclástico durante y posteriormente a la erupción sufrieron obstrucción, desvíos y abandono de cauces, lo cual modificó la red de drenaje en algunos tramos de los cursos fluviales (FIGURA 2C y D).

(iii) Durante las primeras semanas de la erupción, deltas en cercanías de Villa La Angostura crecieron significativamente por acumulación de enormes volúmenes de tefra removilizada por los cursos de agua. Este fenómeno dio lugar a movimientos en masa de material piroclástico depositado en las pendientes de los frentes deltaicos (Beigt *et al.*, 2019), lo cual constituye un riesgo aún en la actualidad en las

FIGURA 2. Algunos impactos de la removilización de ceniza volcánica en sistemas fluviales



A) Material pumíceo en flotación y desborde en el río Totoral durante la erupción de Cordón Caulle 2011. B) Viviendas costeras e infraestructura impactadas por la removilización fluvial de grandes volúmenes de material piroclástico y su redepositación en cercanías del curso de agua. C y D) Obstrucción, desvío y abandono de tramos de cauces durante los años posteriores a la erupción.

Fuente: elaboración propia en base a recopilación de información en salidas de campo e interpretación de imágenes satelitales. Fotografías tomadas por Gustavo Villarosa (A) y Débora Beigt (B y D).

FIGURA 3. Inestabilidad de costas lacustres por acumulación de grandes volúmenes de tefra



A) Cartelería instalada por Parques Nacionales en un delta que creció significativamente por deposición de la tefra de CC2011. B) Imagen dron del deslizamiento subacuático ocurrido en marzo 2021 en el balneario del camping diurno del lago Espejo. El fenómeno movilizó material piroclástico de la erupción del Cordón Caulle 2011 depositado sobre las pendientes del veril.

Fuente: elaboración propia en base a relevamientos de campo. (A) Fotografía tomada por Débora Beigt el 3/11/2016 en Camping Brazo Rincón.

costas de uso recreativo (FIGURA 3), principalmente para pescadores que vadean cerca del veril.

Costas lacustres altamente expuestas al viento dominante del oeste y a la acción del oleaje recibieron grandes volúmenes de material piroclástico que se acumularon en las pendientes del veril, incrementando su inestabilidad (Beigt *et al.*, 2023). Ejemplo de ello es el balneario del Camping Diurno del lago Espejo, donde varios años después de la erupción (2021 y 2024) se produjeron deslizamientos subacuáticos involucrando la tefra removilizada de 2011 (FIGURA 3B). Un disparador común de este tipo de eventos son los movimientos sísmicos que se producen recurrentemente en la región.

Impactos de las caídas de ceniza sobre áreas urbanas y rurales

La persistente caída de ceniza afectó a la agricultura y pastoreo, la infraestructura crítica, la salud y el ambiente en Patagonia Norte. Por su extensa duración, esta erupción resultó parti-

cularmente impactante para la aeronavegación y el turismo invernal en la región, actividad que registró pérdidas totales en Villa La Angostura y Bariloche (Villarosa *et al.*, 2023).

La localidad más severamente afectada por el evento de 2011 fue Villa La Angostura, donde desde el inicio de la erupción se produjeron múltiples inconvenientes: cortes en los servicios eléctricos y en el suministro de agua, interrupción del tránsito en las rutas por disminución de la visibilidad debido a ceniza en suspensión y por baja adherencia producto de la acumulación de ceniza (frecuentemente húmeda) sobre la cinta asfáltica, caída de techos por sobrepeso (Figura 4A) y obturación de desagotes pluviales en plena temporada de lluvias. El suministro eléctrico se vio afectado por la depositación de ceniza húmeda conductora sobre los aislantes, situación que mejoró a partir del reemplazo de piezas vulnerables a los efectos de la ceniza. El suministro de agua fue interrumpido por frecuentes daños en los equipos de bombeo y obstrucción de las tomas de agua, tuberías y filtros.

La ceniza volcánica afectó a las plantas de tratamiento de agua y plantas depuradoras a cielo abierto. Se formaron cuadrillas para limpiar y apuntalar viviendas, despejar calles, distribuir agua potable, mantener el sistema eléctrico, asistir a pobladores, etc.

En el Parque Nacional Nahuel Huapi, la erupción provocó la evacuación de pobladores rurales y ganado, así como el intenso transporte de suministros para su asistencia a fin de paliar la emergencia. Las pérdidas de animales fueron de unos 25%, comparables a las resultantes de un invierno severo. Las causas de muerte de ganado se debieron a la falta de acceso a pasturas y a daños por abrasión de los dientes (inanición), deshidratación y bloqueos del rumen. Áreas rurales a las que sólo puede accederse a través de medios de transporte lacustres (como el Perilago, un sector rural en las costas del noroeste del lago Nahuel Huapi) se vieron en seria amenaza de aislamiento, dadas las dificultades experimentadas en la operación de embarcaciones durante la emergencia. La inicial estrategia de evacuación de los pobladores por vía lacustre, que resultó infructuosa, fue reemplazada posteriormente por la de asistencia, una vez disminuida la presencia de pómez en flotación e implementadas ciertas adaptaciones en las embarcaciones que posibilitaron la navegación (como el uso de materiales de filtración extra en sistemas de refrigeración de motores). De esta manera, los pobladores fueron provistos de fardos, agua potable y otros suministros. También se trasladaron animales para su venta.

Las comunidades de ambientes áridos extraandinos en Río Negro y Chubut sufrieron severos impactos por caída y removilización de ceniza fina y muy fina. Los análisis granulométricos de los depósitos de ceniza en la estepa mostraron un elevado contenido de partículas menores a 2,5 micrones, lo que las hizo muy persistentes y proclives a la resuspensión por los fuertes

FIGURA 4. Algunos impactos de la caída de ceniza sobre áreas urbanas y rurales



A) Local en Paso Cardenal Samoré con techo colapsado. B) Ganado afectado por las cenizas en la ruta de los Siete Lagos. C) Visibilidad reducida en Ingeniero Jacobacci.

Fuente: fotografías tomadas por Gustavo Villarosa durante las primeras semanas de la erupción.

vientos habituales en la zona (Figura 4C). Esto produjo preocupación, ya que la exposición frecuente a partículas finas suspendidas en el aire, a largo plazo, puede causar o agravar enfermedades respiratorias en adultos y niños.

La erupción tuvo graves consecuencias en la ganadería extensiva de la Línea Sur de la provincia de Río Negro (especialmente de Comallo a Jacobacci), con pérdidas de hacienda de entre 40 y 60%. Una de las recomendaciones y estrategias para atenuar estos daños fue vender los animales antes de su deterioro y pérdida de valor. También se propuso el traslado de animales a las provincias de Buenos Aires, La Pampa y Chubut (más de 100.000 animales).

Los efectos de la erupción en la Patagonia extraandina se vieron agravados por la sequía preexistente. Las condiciones de aridez en esta zona provocaron además una prolongación de los impactos, producto de la removilización eólica de la ceniza especialmente en la estación seca durante varios años posteriores a la erupción.

Reflexiones finales

La erupción del CC 2011 nos presentó una oportunidad excepcional para estudiar de manera directa y en tiempo real el fenómeno volcánico, los procesos que desencadena y los impactos en el territorio argentino, profundizando una línea de trabajo que se inició localmente durante la erupción del Volcán Chaitén 2008.

Aún hoy siguen ocurriendo fenómenos derivados de las caídas de ceniza de 2011, constituyéndose en problemáticas geoambientales para las poblaciones y actividades humanas en la Patagonia. La comprensión de estos procesos resulta de especial interés para promover la mitigación de su impacto sobre las comunidades andinas y la infraestructura crítica. Su estudio apunta a la generación de información de utilidad para la definición de medidas de gestión del riesgo en la región, como así también para el diseño, la ejecución y la evaluación de estrategias de ordenamiento territorial basadas en el conocimiento científico.

BIBLIOGRAFÍA

Beigt, D., Villarosa, G., Outes, V., Gómez, E. A., y Toyos, G. (2019). Remobilized Cordón Caulle 2011 tephra deposits in north-Patagonian watersheds: Resedimentation at deltaic environments and its implications. *Geomorphology*, 341, 140 - 152.

Beigt, D., Villarosa, G., De Luca, L., Barbosa, A., Gómez, E.A., y Raniolo, L.A. (2023). Inestabilidad de costas asociada a fenómenos gravitacionales en grandes lagos patagónicos: un análisis de eventos recientes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 80(2), 280-299.

Villarosa, G. y Outes, V. (2013). Informe Final: efectos de la caída de cenizas del Complejo Volcánico Puyehue (CPCC) sobre la región del lago Nahuel Huapi. Convenio Legislatura de Neuquén-Centro Regional Universitario Bariloche. Universidad Nacional del Comahue.

Villarosa, G.; Outes, A. V.; Beigt, D.; Amat Morales, P. N., y Salgado, P. A. (2023). Las múltiples dimensiones del fenómeno volcánico en la Patagonia Norte: aportes científicos interdisciplinarios del Grupo GEA para el estudio de la erupción del Cordón Caulle. *A 10 años de la erupción del Puyehue-Cordón Caulle* (57-96). Editorial Universidad Nacional de Río Negro.

GLOSARIO

¹ **Tefra:** depósitos en superficie de material piroclástico no consolidado, que puede incluir desde cenizas muy finas a fragmentos con diámetros de hasta 6,4 cm.

² **Material piroclástico:** material generado por la fragmentación del magma durante erupciones volcánicas explosivas.

³ **Mapa isopáquico:** representación gráfica de la distribución del espesor o grosor de una determinada capa o estrato de material. En este caso, el espesor del depósito de caída de cenizas de la erupción del CC2011.

⁴ **Composición riolítica:** característica geoquímica del material ígneo extrusivo (volcánico), definida por un alto contenido de sílice (>70%) y el dominio de minerales félsicos, como cuarzo y feldespatos. Esta composición es propia de magmas altamente viscosos, los cuales dan lugar a erupciones explosivas.

⁵ **Material pumíceo / Pómez:** material piroclástico, altamente poroso y, en consecuencia, de baja densidad, generado por la fragmentación de magmas ricos en sílice. La porosidad se origina debido a la rápida descompresión durante la erupción volcánica, lo que provoca la expansión y escape de gases atrapados en el magma, creando su característica textura vesicular.

⁶ **Veril:** ubicado inmediatamente por debajo del nivel de acción de olas, el veril se define, según diccionarios náuticos, como el límite a partir del cual se produce un desnivel pronunciado de un lecho lacustre o marino.

Los movimientos en masa en la Argentina

Alejandro Emmanuel Celli*

¿Qué son los movimientos en masa?

Cuando hablamos de movimientos en masa, nos referimos al desplazamiento de un cierto volumen de material a través de una pendiente, por acción de la gravedad. Este material incluye fragmentos de rocas y/o suelos, con diferente grado de saturación, que pueden estar acompañados de vegetación, viviendas, carreteras, o cualquier otra instalación que se encuentre en su camino. Movimiento en masa es un término genérico para referirse a diferentes procesos que cumplen con las condiciones descritas. Si bien existen diversas clasificaciones (Hungre *et al.*, 2014), podemos mencionar algunos de los mecanismos habituales, como los deslizamientos (traslacional, rotacional, en cuña), los flujos (de detritos, de tierras), los vuelcos (flexural, por pandeo), las caídas (de rocas, de suelos), las avalanchas (de rocas, de detritos, de nieve), las expansiones laterales, el reptaje o los movimientos complejos. A su vez, no podemos dejar de mencionar otros términos más o menos específicos, más o menos técnicos, con los que se conocen estos procesos, como movimientos gravitacionales, movimientos de ladera, movimientos del terreno, remoción en masa, aludes, aluviones, derrumbes, deslaves, flujos densos, corrimientos, desprendimientos, caída de piedras, por citar algunos.

Se asocian a laderas naturales, taludes excavados o terraplenes, cuya geometría y características litológicas y estructurales condicionan el mecanismo de rotura. En terrenos que se encuentran en un estado de estabilidad precaria, el

FIGURA 1. Deslizamiento planar sobre la ruta provincial 43, en Chos Malal, Neuquén, ocurrido el 1° de agosto de 2023



Fuente: Alejandro Celli, 2023.

movimiento se materializa cuando una fuerza externa incrementa la carga sobre el sistema, superando la resistencia al corte del material. Estas fuerzas externas están representadas comúnmente por el incremento en la presión poral producto de precipitaciones intensas o sostenidas en el tiempo, la liberación de energía producto de un sismo, el aumento en la inclinación del talud producto de una excavación (FIGURA 1), entre otros factores, como la pérdida de la vegetación por desmonte o incendio, que elimina las raíces que sostienen el suelo y absorben humedad.

Los movimientos en masa pueden a su vez desencadenar otros procesos naturales, como tsunamis (en el océano) o seiches (en lagos o embalses), e inundaciones relámpago.

Si bien es común clasificarlos como peligros, amenazas o procesos naturales, su vinculación con las actividades humanas es en ocasiones manifiesta, y no solo por las consecuencias, sino también por las causas, razón por la cual han sido considerados como peligros o amenazas híbridos.

Más allá de subestimaciones en el diseño de excavaciones (Celli, 2023), la presencia de tuberías, canales, pozos ciegos, piscinas u otros reservorios de agua con filtraciones sistemáticas, son claros disparadores de eventos, a los que se suma el desmonte y los incendios “controlados”, que en algunas regiones del país llegan a ser el principal generador de diferentes tipos de movimientos en masa.

Distribución espacial

A nivel global, los movimientos en masa representan una de las principales causas de pérdidas humanas y materiales. Como ocurre con otros procesos naturales o híbridos, las consecuencias se incrementan año tras año, producto fundamentalmente de la creciente expansión demográfica, que obliga a ocupar territorios históricamente relegados, debido a su complejidad geotécnica y su comportamiento difícilmente predecible. Estos sitios inestables son mayormente ocupados por personas

* Licenciado en Ciencias Geológicas. Director de Geología Ambiental y Aplicada, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino.

alejandro.celli@segemar.gov.ar

de bajos recursos, imposibilitados de afrontar los elevados costos de acondicionamiento que requeriría la ocupación permanente de tales terrenos.

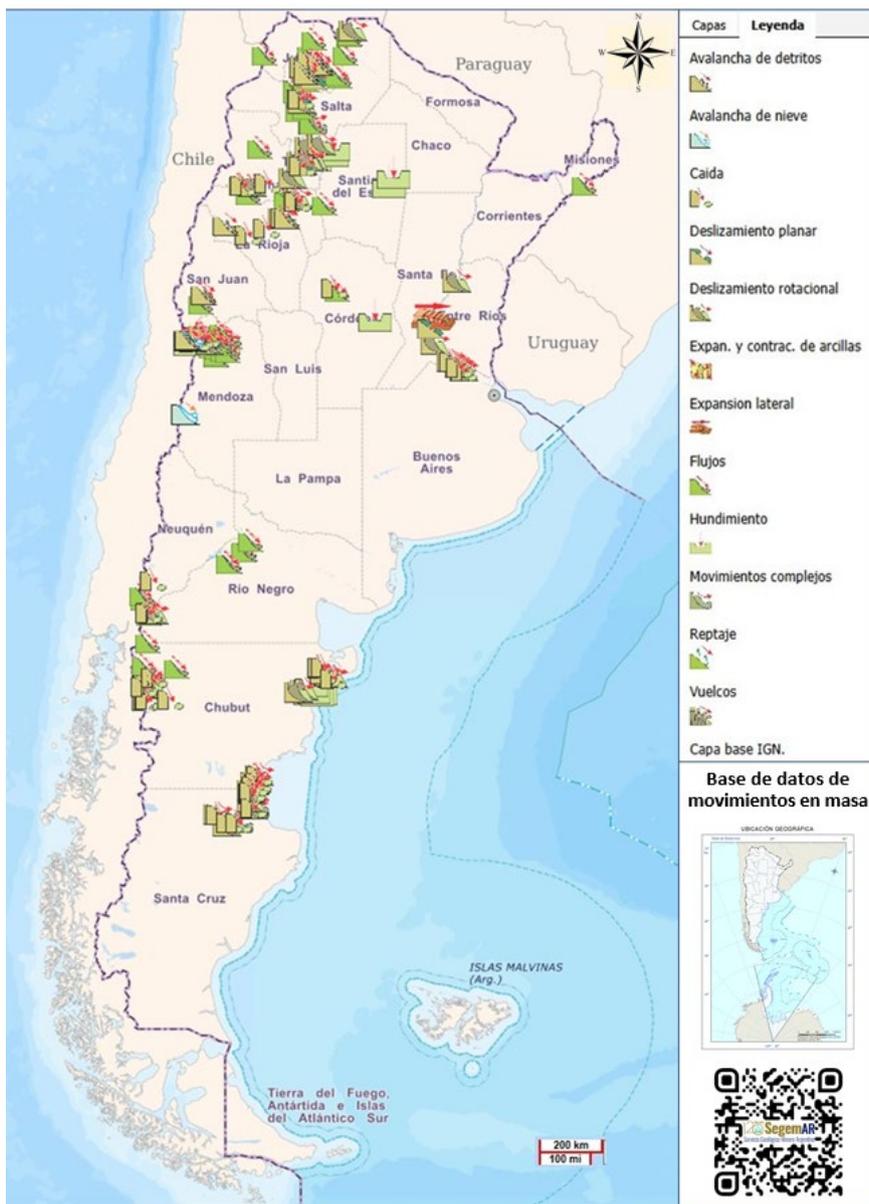
En otros casos, es común la ejecución de importantes obras de sostenimiento, basadas en un notable desconocimiento de los procesos involucrados, lo que repercute en esfuerzos carentes de resultados y hasta contraproducentes, sumados a una falsa sensación de seguridad.

Adicionalmente, el cambio climático, visto como un aumento global de la temperatura y de los eventos de tormenta extremos, contribuye al retroceso de los glaciares, con la consecuente relajación de sus laderas, y la fusión del permafrost, lo que genera cambios en los caudales y carga sedimentaria de los ríos. A su vez, el incremento en la torrencialidad de las precipitaciones genera una mayor saturación y erosión del terreno, mientras que la intensidad de los vientos incrementa el oleaje en zonas costeras, afectando la estabilidad de acantilados. Estos aspectos impactan directamente en la magnitud y frecuencia de los eventos, incrementando las consecuencias sobre las personas y sus bienes.

En la Argentina, el mayor de los riesgos híbridos está asociado sin duda a las inundaciones, que afectan directamente a populosas localidades ribereñas y a la producción agrícola – ganadera. Esta situación ha dejado históricamente relegada la atención sobre los procesos gravitatorios, que impactan sobre gran parte de nuestro extenso territorio. Si bien los eventos de mayor magnitud suelen asociarse a regiones montañosas de relieve escarpado, es frecuente observar inestabilidades de laderas en ambientes de llanura, donde los cursos fluviales generan barrancas, como es el caso del río Paraná. A pesar de su baja magnitud, la afectación en estos entornos suele ser considerable, debido a la ocurrencia en áreas densamente pobladas, lo que implica un riesgo elevado (Cravero *et al.*, 2018; Celli y Rosa Vilardo, 2023). Algo similar ocurre en las zonas costeras con presencia de acantilados, donde eventos de caída de bloques de baja magnitud pueden afectar a una gran cantidad de personas, durante la temporada estival.

A los desniveles regionales o locales, se suman las características mecánicas e

FIGURA 2. Ubicación de eventos asociados a diferentes tipos de movimientos en masa, registrados en la Base de datos de Peligrosidad Geológica



Fuente: SEGEMAR (2025). La base de datos se encuentra en elaboración. La ausencia de registros no implica ausencia de eventos.

hidráulicas del terreno, como los factores más condicionantes en la ocurrencia de movimientos en masa. Dada la gran variabilidad de geomateriales a lo largo del país, resulta complejo determinar cuáles podrían ser los sitios con mayor probabilidad de ocurrencia de eventos de este tipo. En este sentido, el registro sistemático de eventos (SEGEMAR, 2025), aunque incompleto, permite definir y caracterizar zonas más susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa (FIGURA 2).

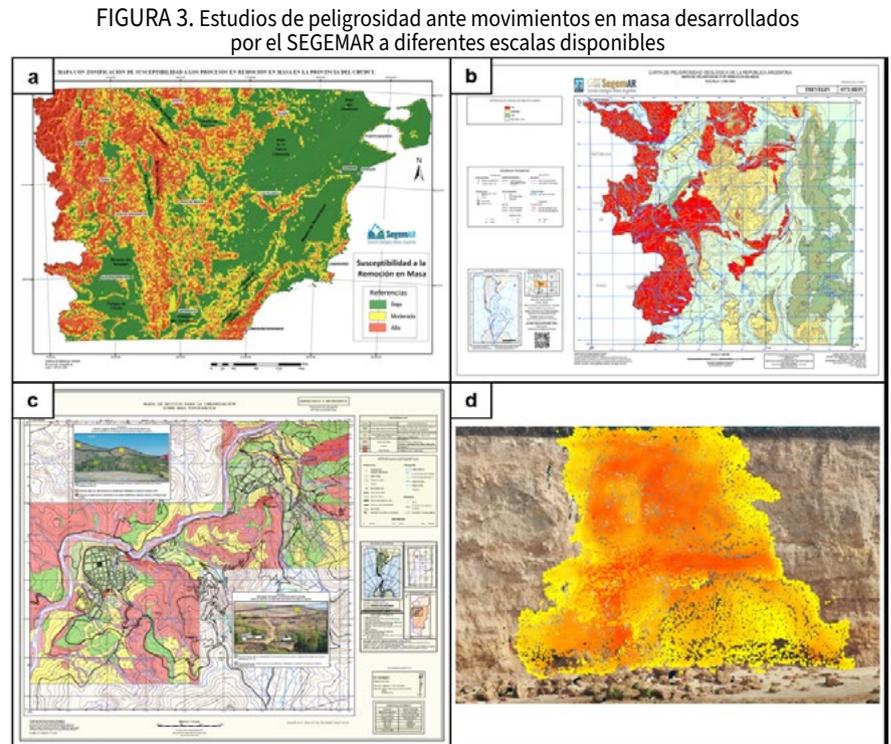
Paralelamente, el grado de exposición ante estos eventos juega un papel muy relevante en la evaluación del riesgo. Más allá de los balnearios turísticos, existen numerosos sitios con una elevada circulación y permanencia de personas, asociados a terrenos relativamente estables en los que, a pesar de la baja frecuencia y magnitud de los eventos, las consecuencias podrían ser severas.

Estrategias para la reducción del riesgo

El primer paso para reducir el riesgo asociado a cualquier tipo de evento es conocer cómo, dónde y por qué se desarrolla ese proceso. En este sentido, el SEGEMAR, como único organismo nacional competente en materia de peligros geológicos, lleva adelante el estudio sistemático de las características del terreno y los procesos que modelan el paisaje, analizando la peligrosidad geológica a diferentes escalas, a lo largo del territorio bicontinental argentino (FIGURA 3).

A partir de la identificación, localización y caracterización de los peligros asociados a movimientos en masa, es posible planificar estrategias enfocadas en la disminución de los riesgos asociados, considerando sus diferentes componentes. En esta línea, los estudios geocientíficos aplicados al ordenamiento territorial, así como los análisis de estabilidad de detalle desarrollados por el SEGEMAR, brindan recomendaciones para la toma de decisiones, tendientes a disminuir el peligro (medias estructurales, como sostenimientos y drenajes), la vulnerabilidad (medias no estructurales, como campañas de educación y concientización), y la exposición (a partir de planes de monitoreo y de contingencia y evacuación).

Estas acciones constituyen herramientas de gestión fundamentales para el desarrollo sostenible, propiciando una interacción más segura entre las activida-



a) Susceptibilidad a la remoción en masa de la provincia del Chubut a escala 1:750.000; b) Peligrosidad por remoción en masa en la hoja Trevelin, a escala 1:250.000; c) Aptitud para la urbanización en Andacollo y Huinganco, a escala 1:15.000; d) Análisis de estabilidad de acantilados en Gral. Pueyrredón, a escala 1:100. Fuente: Repositorio SEGEMAR (2025).

des humanas y el entorno físico. Un crecimiento urbano ordenado contribuye a salvar vidas y genera un ahorro en tareas de mitigación, minimizando la ejecución precipitada de obras de baja efectividad. Según datos para Latinoamérica y el Caribe, de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de

Desastres, por cada dólar invertido en la reducción de riesgos y la prevención se pueden ahorrar hasta 15 dólares en la recuperación después de un desastre. La planificación de políticas públicas basadas en evidencia científica redundan en la disminución del riesgo de desastres y sus costos asociados.

BIBLIOGRAFÍA

Celli, A. E. (2023). *Deslizamiento en el cerro de la Virgen, ruta provincial 43, Chos Malal, Neuquén* (Informe técnico, 34). Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/4416>

Celli, A. E. y Rosa Vilardo, P. R. (2023). Identificación y caracterización geológica y geotécnica de procesos gravitacionales activos en las barrancas del río Paraná en Villa Hernandarias, Entre Ríos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 80(3), 455–473.

Cravero, R., Fauqué, L., Oliva, J., y Tejedo, A. (2018). *Informe peligrosidad por remoción en masa: Barrancas de la Ciudad de Diamante, Provincia de Entre Ríos, Argentina* (Informe técnico, 39 pp.). Servicio Geológico Minero Argentino. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/4132>

Hungr, O., Leroueil, S., y Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslides: An update. *Landslides*, 11(2), 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436>

Repositorio SEGEMAR. (2025). *Publicaciones e informes inéditos sobre peligrosidad geológica*. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/33>. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/2847>

SEGEMAR. (2025). *Base de datos de peligrosidad geológica*. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. <https://sigam.segemar.gov.ar/visor/>

Procesos de licuación de suelos asociados a terremotos, provincia de San Juan

Silvia Beatriz Palacios *

En la Argentina, el registro sísmico histórico comienza a principios del siglo XVII, décadas después de la llegada de los primeros colonizadores españoles. Los primeros antecedentes de terremotos destructivos se remontan al siglo XVII – XVIII, acontecidos el 3 de septiembre de 1692 en Talavera de Esteco (Salta) y en la provincia de Mendoza, el 22 de abril de 1782. Bondenbender (1894) realizó estudios y descripciones minuciosas de las características y los efectos secundarios generados en el terremoto de 1894, acontecido en la provincia de San Juan. Este suceso se convirtió en el mejor documentado en la Argentina para el siglo XIX y el primer estudio de los procesos de licuación asociados a sismos en el país.

Durante el siglo XIX se registraron al menos 12 sísmicos destructivos, de los cuales 11 se localizaron en la región Noroeste y sólo 1 en la región Este. A partir del siglo XX, los registros instrumentales permitieron conocer con precisión la ubicación y la magnitud de los sismos, aun en los parajes más despoblados. Desde entonces, la Argentina mantiene un importante registro sísmico, que se extiende desde la provincia de Jujuy hasta Tierra del Fuego. Este adelanto, se ha dado en forma simultánea con el desarrollo de la ingeniería y la aplicación de las normas de construcción sismo resis-

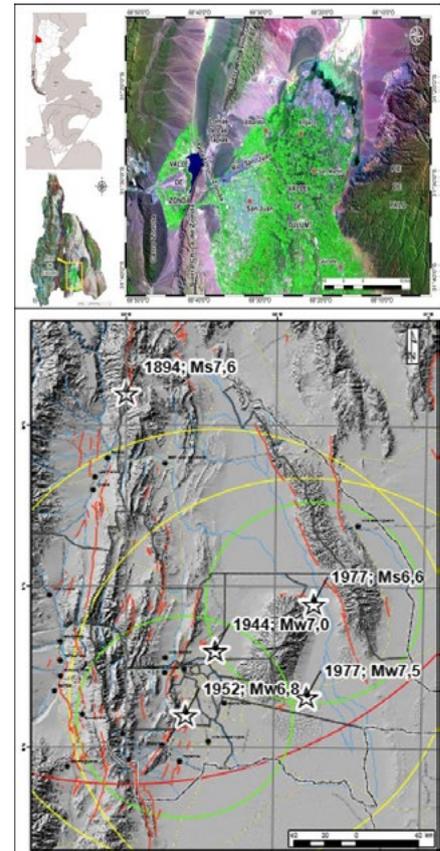
tente. La licuación es un proceso en el que un material sólido pasa a un estado líquido. En el contexto sísmico, se refiere a la pérdida de resistencia en suelos no cohesivos saturados debido a la acumulación de presión de agua en los poros, durante la aplicación de cargas cíclicas. Según Terzaghi (1950) el "arreglo" de las partículas en arenas finas o limos gruesos puede ser tan inestable que una leve perturbación en el equilibrio de los granos provoca su reordenamiento en posiciones más estables, lo que reduce la porosidad del sedimento. Cuando este proceso ocurre por encima del nivel freático, puede generar asentamientos en la superficie del terreno, si la licuación sucede por debajo del nivel freático, las consecuencias pueden ser mucho más peligrosas, incluso catastróficas. Este fenómeno es una de las amenazas más problemáticas, ya que afecta gravemente la estabilidad de las estructuras fundadas en el suelo, pudiendo provocar la pérdida total de la resistencia y capacidad de soporte del terreno. Estos efectos negativos, también pueden extenderse a las instalaciones enterradas.

A pesar de los grandes daños que provocan estos procesos, es aún limitado su estudio en la Argentina, debido a que las estructuras que se generan son efímeras, siendo difícil su preservación en el tiempo. Esta situación ha permitido considerarlas como un "patrimonio geológico efímero" (Palacios et al., 2024) por los importantes datos sísmicos que pueden aportar.

Historial sísmico en los depósitos de suelos en la provincia de San Juan

Los procesos de licuación se han manifestado a lo largo de toda la historia sísmica de la provincia de San Juan, desde 1894, 1944, 1952, 1977 y 2021 (FIGURA 1).

FIGURA 1. Muestra las fallas activas, los epicentros de los terremotos históricos con sus respectivos radios de influencia



Fuente: Palacios (2015)

* Doctora en Ciencias Geológicas. Profesor ordinario Jefe de trabajos prácticos Adjunto, Instituto de Investigaciones Geológicas (INGEO), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. silbea09@gmail.com

Terremoto de 1894: el primer registro histórico fue en el terremoto del 27 de octubre de 1894, intensidad máxima de IX en la escala Mercalli Modificada (EMM), INPRES (2006), con epicentro al noroeste de San Juan y la Rioja (FIGURA 1). Fue el sismo de mayor magnitud ocurrido en la Argentina y sus efectos se sintieron a más de 200 km de distancia del foco, por lo que Bondenbender, lo denominó “Terremoto Argentino”, asignándole una magnitud de 8,2. El número de víctimas fatales fue de alrededor de 100, ya que el epicentro se ubicó en una región de densidad poblacional muy baja. Los diarios de la época describieron un sismo muy fuerte, de carácter ondulatorio y larga duración que produjo daños de consideración en las ciudades de San Juan, La Rioja, Córdoba, Catamarca y Mendoza. Con menor intensidad se sintió en Buenos Aires, en ciudades del litoral y en países limítrofes, desde el norte al sur de Chile, en Perú y en algunas poblaciones del sur de Brasil. Según relatos de la época, en febrero de 1893 se pone en alerta a la población por el aumento del caudal del río San Juan, por lo que se estima niveles freáticos altos en las cuencas de los ríos cordilleranos, al momento del sismo, lo que habría favorecido los procesos de licuación, ampliamente distribuidos en la región. Bondenbender destacó la actuación de dos factores principales, en la generación de este fenómeno; el agua subterránea a escasos metros de profundidad y la presencia de arenas y arcillas sin cohesión, en los depósitos de suelos de valles y llanuras. Bondenbender (1894) describe los efectos del sismo, destacando los numerosos procesos de licuación, entre ellos grietas en el terreno de hasta 50 cm de ancho con emanación de agua y arena, hundimientos del terreno, cráteres y volcanes de arena (FIGURA 2). También menciona las salidas de agua en forma de chorros de hasta 2 m de altura.

Terremoto de 1944: el 15 enero 1944 se produjo un terremoto de 7,4 en la escala de Richter, con una intensidad de IX en la escala Mercalli (INPRES, 1993). El epicentro se situó a unos 20 km al norte de la capital de San Juan, en la localidad de La Laja (FIGURA 1). El terremoto que duró entre 15 y 20 segundos, destruyó el 80% de la Ciudad de San Juan y se estima en más de 10 mil las víctimas fatales. Este sismo es considerado el evento más destructivo que se haya registrado en el país, a partir de entonces, se incrementaron los estudios para el control urbanístico, la planificación territorial y la prevención de catástrofes, inexistentes hasta ese momento. Se documentaron numerosos procesos de licuación, con salidas de agua al exterior, formación de volcanes y cráteres de arena (FIGURA 2). Se dieron cambios notables en el nivel de las aguas subterráneas y variaciones en los manantiales de agua sulfurosa de

las aguas termales (Castellanos, 1945). Se formaron conos de arena o de barro generalmente alineados sobre una grieta y también aislados, sin conexión con grieta alguna. Las extensiones de las grietas variaron entre 100 a 150 m, un ancho variable entre 30 y 40 m y a 100 cm de profundidad. (FIGURA 2). Con frecuencia estas grietas facilitaron la salida de agua produciendo inundaciones locales.

Terremoto de 1977: el terremoto del 23 de noviembre de 1977 tuvo una Magnitud de 7,4 con epicentro en la ciudad de Caucete, San Juan. Tuvo una duración de 55 segundos y alcanzó una intensidad máxima de IX EMM, en la escala Mercalli Modificada (INPRES, 1982). Se registraron 70 víctimas fatales. La licuación de los depósitos de suelos produjo importantes daños en las obras de infraestructura y a los establecimientos industriales, ocasio-

FIGURA 2. Terremotos de 1894 y 1944. Se observan cráteres de arena con agua y grieta de 660 m de extensión, 1 m de profundidad y ancho de 50 cm. (1894); derrumbes y cráter en una calle principal (1944)



Fuentes: Bodenbender (1894). Diario La Nación del 23 de enero de 1944

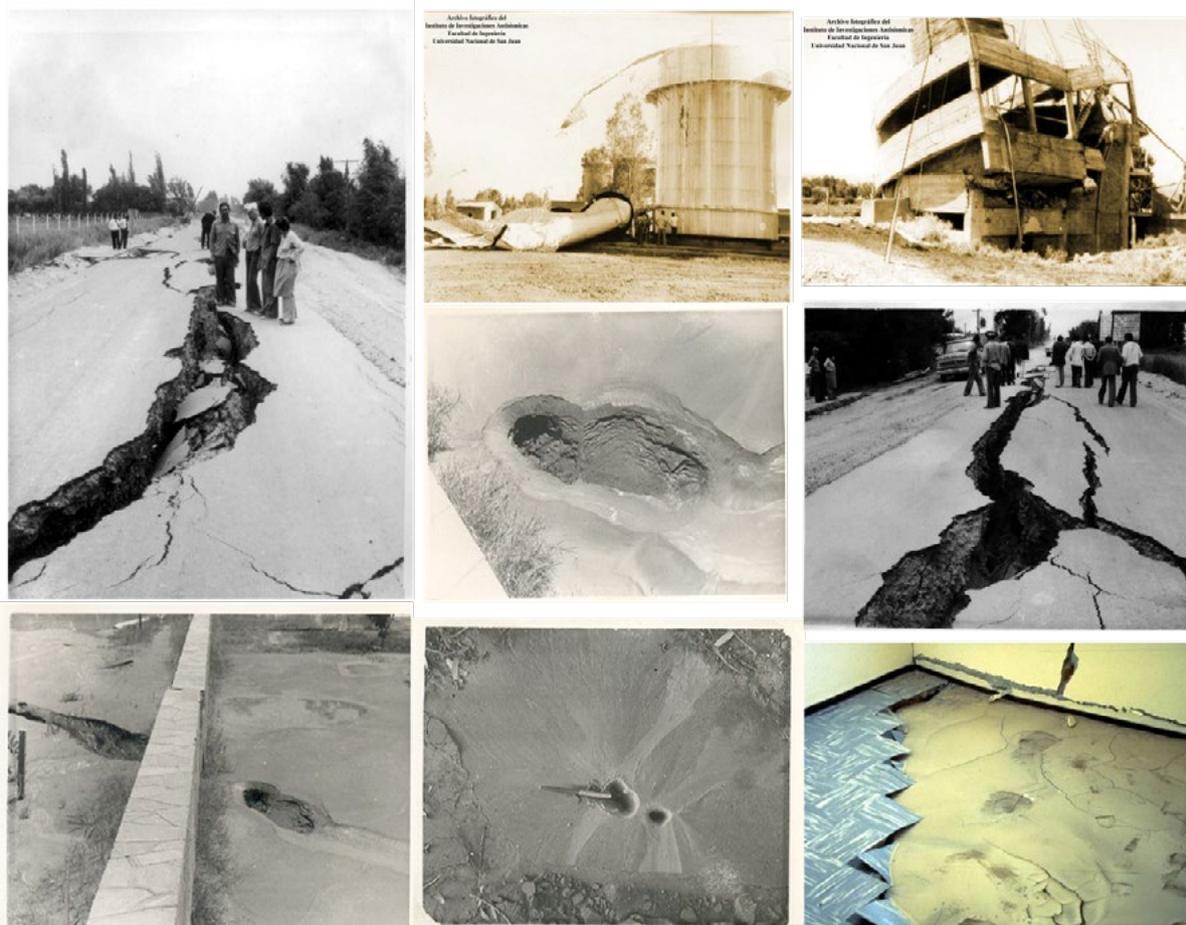
nando un gran deterioro a la economía de la provincia. La particularidad de este sismo fue que en el año del terremoto, debido a los grandes caudales derramados por el río San Juan, se produjo un notable incremento en la disponibilidad de aguas para riego. Esto provocó el aumento de nivel de la falsa freática, por lo que, al momento del sismo, se encontraba muy cerca de la superficie del terreno, en casi todas las zonas afectadas por la licuación. La composición del subsuelo de la planicie aluvial del río San Juan, también fue un factor de importancia en este proceso, conformada por sedimentos areno limosos sin cohesión. La interrelación de estos factores, entre otros, favoreció los procesos de licua-

ción, los que se extendieron a más de 260 km del epicentro. Los daños para la industria vitivinícola fueron cuantiosos, grandes tanques de vino se hundieron y provocaron grietas en el suelo, por las cuales se produjo salida de agua con arena (FIGURA 3). Algunos tanques quedaron inclinados entre 5° y 10°.

Terremoto del 18 de enero de 2021: el sismo se registró las 23:46 hora local. La intensidad fue de VII (EMM) en la ciudad de San Juan y la magnitud Mw 6,5. El epicentro se localizó ~45 km al suroeste de la capital de San Juan (FIGURA 4). A pesar de la elevada magnitud, no hubo víctimas.

La profundidad estimada del evento varió según los distintos autores entre 5,6-25 km y se percibió a lo largo del centro-oeste del país. El radio máximo de influencia del sismo se estimó en 90 km, considerando la distancia desde el epicentro hasta los sitios más lejanos, donde se identificaron los efectos secundarios (FIGURA 4). El sismo afectó a terrenos cultivados, emprendimientos mineros (canteras de caliza) y áreas pobladas de la provincia. Las áreas afectadas por procesos de licuación fueron más pequeñas que en los terremotos históricos, probablemente, por su menor magnitud y por la mayor profundidad de la freática. Se registraron efectos tales como, asentamientos diferenciales, volcanes de arena con

FIGURA 3. Grieta de gran extensión y profundidad; Pequeños cráteres y volcanes de arena formados por procesos de licuación en el interior de una vivienda, hundimientos de tanques de vino, pérdida de resistencia en las construcciones



Fuente: Instituto sismológico de Zonda (1978, 1984), INPRES (1977, 1978). Instituto de Investigaciones Antisísmicas. Youd y Keefer (1994).

FIGURA 4. Terremoto del 18 de enero de 2021. Se observan numerosas grietas, desplazamientos laterales y volcanes de arena con salidas de agua a la superficie



Fuente: Palacios, S., Oro, A. y Perucca, L. (2021) *Andean Geology* 48 (2): 333-349.

salidas de agua a la superficie, grietas, aumento en el caudal de las vertientes. Se observaron importantes daños en algunos tramos de la ruta nacional N°40, a 40 km del epicentro, en calles secundarias y en canales de riego al sur de la ciudad capital (Palacios et

al., 2024). Más cerca del epicentro, se reconocieron numerosas grietas paralelas entre sí, en terrenos cultivados (FIGURA 4).

El estudio y reconocimiento de las estructuras de licuación se llevaron a

cabo aplicando un procedimiento propuesto por Palacios y Perucca (2020). Este evento representó la primera oportunidad de aplicar dicho protocolo para un sismo de magnitud moderada a elevada en el país. ■

BIBLIOGRAFÍA

Bodenbender, G. (1894). El terremoto argentino del 27 de octubre de 1894. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias en Córdoba*, 14, 293–329.

Castellanos, A. (1945). *Cuatro lecciones sobre terremotos. Parte B: El terremoto de San Juan* (Publicación N° 6, pp. 77–243). Asociación Cultural de Conferencias de Rosario.

Obermeier, S. F. (1989). The New Madrid earthquakes: An engineering-geologic interpretation of relict liquefaction features (U.S. Geological Survey Professional Paper 1336-B, 114 pp.). U.S. Geological Survey.

Palacios, S., Perucca, P., Pantano, A. y Lara, G. (2017). Propuesta metodológica para el análisis de la licuefacción de suelos asociada a sismos destructivos: Pre-Andes centrales, Argentina (31°30'S y 68°25'O). *Anuário do Instituto de Geociências*, 40, 55–69. <http://www.anuario.igeo.ufrj.br>

Palacios, S. y Perucca, L. (2020). Patrimonio geológico efímero: Propuesta metodológica para el inventario y evaluación de las estructuras generadas por licuación de suelos durante sismos, San Juan, Argentina. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, T2(1), 1–14.

Palacios, S., Oro, A. y Perucca, L. (2024). Evaluación de los efectos secundarios tras el terremoto de magnitud 6,6 del 18 de enero de 2021 en San Juan, Argentina: Determinación de la intensidad sísmica mediante la escala ESI-2007. *Geología Andina*, 51(3), 518–537. <https://dx.doi.org/10.5027/andgoV51n3-3704>

Terzaghi, K. (1950). Mecanismo de los lados de tierra. En S. Paige (Ed.), *Aplicación de la geología a la práctica de la ingeniería*.

Impactos ambientales y riesgos de contaminación por fracking en la cuenca del río Negro: un análisis geoespacial integrado

Diego Agustín González*, Juan Carlos Roca**, Lucía Orrego***, Romina Díaz Gómez****, Marina Mautner***** y Laura Forni*****

Introducción

Vaca Muerta (Neuquén) es uno de los mayores yacimientos globales de hidrocarburos no convencionales explotados mediante fracking, una técnica que inyecta fluidos a alta presión para fracturar rocas y liberar combustibles fósiles. Su expansión ha generado preocupación por los impactos ambientales, especialmente en la cuenca del río Negro, Argentina, región clave para la agricultura y el suministro de agua en la Patagonia. Esta cuenca, formada por los ríos Limay y Neuquén, sustenta el riego de 150.000 hectáreas de cultivos frutales y abastece a poblaciones e industrias (González y Tomasevich, 2015).

La expansión del fracking en Vaca Muerta ha incrementado la actividad

petrolera cerca de los cuerpos de agua, zonas agrícolas y urbanas. La técnica de fracking, que utiliza la inyección de fluidos a alta presión para fracturar formaciones rocosas y liberar hidrocarburos, ha generado preocupación debido a los riesgos potenciales para la calidad del agua y la salud pública.

El objetivo de este trabajo consistió en analizar la información para entender los riesgos de contaminación por fracking y su impacto sobre los recursos hídricos y la producción agrícola en las cuencas hidrográficas de Vaca Muerta. Se desarrolló una plataforma geoespacial con indicadores de riesgo ambiental para promover la gestión sostenible, identificando sitios potenciales de riesgo de contaminación, los cuales fueron validados a partir de muestreo de calidad de agua y suelo a campo.

Análisis geoespacial y metodología

La plataforma geoespacial Observ.ar¹ fue desarrollada para evaluar los riesgos ambientales asociados a la expansión del fracking en las cuencas de los ríos Neuquén y Negro. Integra un enfoque holístico, colaborativo y transparente, combinando datos ambientales, sociales y económicos; talleres participativos con actores locales; y herramientas de software libre con datos abiertos.

Observ.ar caracteriza espacial y temporalmente la actividad hidrocarbúfera mediante sensores remotos, estudios locales y conocimiento experto.

Participaron instituciones como el Instituto de Medioambiente de Estocolmo (SEI) y la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue (FACA-UNCOMA), desarrollando indicadores de riesgo basados en análisis de proximidad (Chakraborty y Maantay, 2011), densidad de pozos y modelos automáticos de detección de locaciones.

Los indicadores incluyen:

- Caracterización de pozos (convencionales, no convencionales y no informados, 1900–2023).
- Proximidad a cuerpos de agua, ríos y canales de riego, con distancias que definen niveles de riesgo de contaminación según Meng (2015). El riesgo hídrico se fundamenta en estudios previos sobre impactos del fracking (Vengosh *et al.*, 2014, 2017).
- Proximidad a localidades, para identificar amenazas potenciales a la salud pública.
- Interacción entre pozos, donde se mide la densidad e intersección espacial de pozos convencionales y no convencionales, considerando riesgos documentados por Jackson *et al.* (2014) y la U.S. Environmental Protection Agency (2016) sobre contaminación subterránea por deterioro estructural de pozos antiguos.

Además, se aplicó un modelo de aprendizaje automático para detectar locaciones de fracking en imágenes Sentinel-2, utilizando Random Forest, algoritmo reconocido por su robustez en clasificación (Rodríguez-Galiano *et*

* Ingeniero Agrónomo y Especialista en Educación, Magíster en Gestión y Auditorías Ambientales. Docente e Investigador, Departamento de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue. diego.gonzalez@faca.uncoma.edu.ar

** Ingeniero Agrónomo y Especialista en Intervención Ambiental y Gestión Integral de Residuos Urbanos. Docente, Investigador y responsable del Laboratorio de Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue. juan.roca@faca.uncoma.edu.ar

*** Técnica Química Nacional. Estudiante Avanzada de la Carrera Ingeniera Agronomía, Auxiliar de Docencia y Becaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue. luciam.orrego@gmail.com

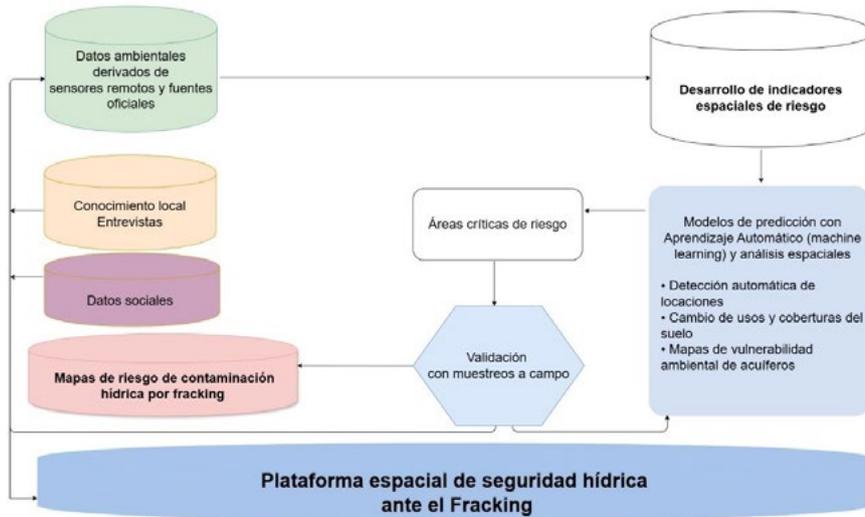
**** Doctora en Ciencias Biológicas y Experta en el uso de sensores remotos aplicados a la gestión de cuencas hidrográficas. Investigadora en el Programa de Agua, Stockholm Environment Institute. romina.diazgomez@sei.org

***** Doctora en Ciencias Hidrológicas y Magister en Ingeniería de Recursos Hídricos. Investigadora en el Programa de Agua, Stockholm Environment Institute. marina.mautner@sei.org

***** Magíster en Economía Agrícola y de Recursos. Directora del Programa de Agua, Stockholm Environment Institute. laura.forni@sei.org

¹ Puede visitarse en <https://observar.com.ar/>

FIGURA 1. Estructura de la plataforma geoespacial



Fuente: elaboración propia.

al., 2012). El modelo incorporó bandas espectrales, índices NDVI y BSI, y datos topográficos para aumentar la precisión (Wang *et al.*, 2022; Castaldi *et al.*, 2023). Esto permite un monitoreo mensual de nuevas instalaciones y una gestión continua del riesgo ambiental.

Relevamientos de campo

Se han mapeado los sitios donde se han reportado incidentes en la región (Orrego *et al.*, 2023). En sitios cercanos a los reportados, se han realizado muestreos de suelos y agua en lugares próximos a las locaciones en octubre 2023 y abril 2024 con el fin de evaluar la calidad actual y detectar la presencia de contaminantes provenientes de la actividad hidrocarburífera y su potencial efecto en la calidad de los sitios agrícolas en la localidad de Allen, provincia de Río Negro.

Resultados y hallazgos

La plataforma geoespacial Observ.ar está alojada en observar.com.ar y está en constante edición. Se ofrece también un espacio de contacto para recibir retroalimentación. A continuación, se describen los principales resultados de los indicadores espaciales y la vali-

dación a campo de los sitios con riesgos ambientales.

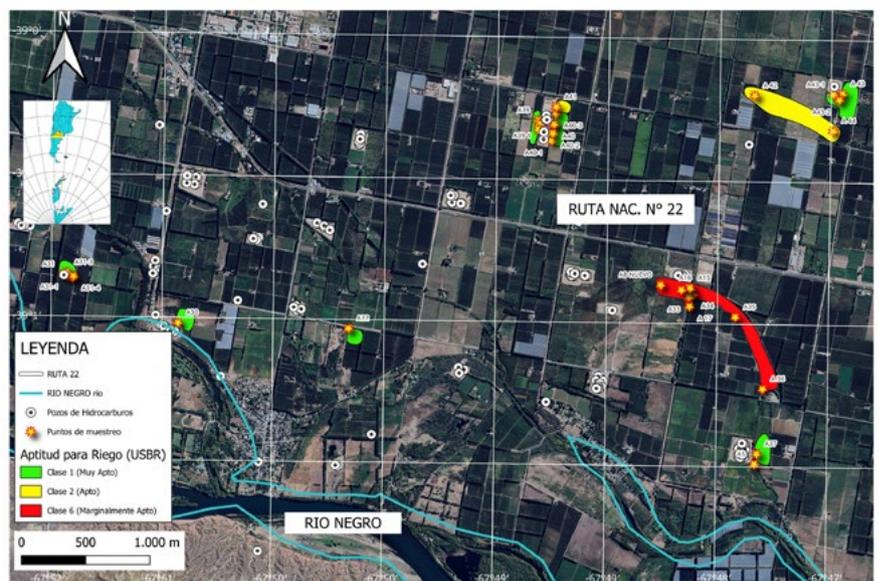
El análisis revela una alta densidad de pozos en áreas cercanas a los ríos y canales de riego, 64 pozos a menos de 1 km en el río Neuquén y 25 en el río Negro. Además, se identificó que existen 13 pozos no convencionales a menos de 1 km de los canales de drenaje. Esta proximidad plantea un riesgo signifi-

cativo de contaminación de las fuentes de agua y de suelos agrícolas. Además, se identificaron zonas donde la interacción entre pozos podría aumentar el riesgo de fallos en el sistema y posibles fugas de contaminantes. Cabe mencionar que en estos indicadores de riesgo no se tuvo en cuenta la longitud de las ramas laterales de los pozos y solo el lugar de puntura, alcanzando en algunos casos los 4.000 metros de extensión las ramas laterales.

En cuanto a la proximidad de pozos a las localidades, se identificó riesgo medio con distancias entre 1 y 2 km al Barrio Calle Ciega 10, Barrio Costa Oeste y Barrio Emergente, en la provincia de Río Negro. Mientras que en Neuquén las localidades afectadas son Añelo y Ruca Luhe.

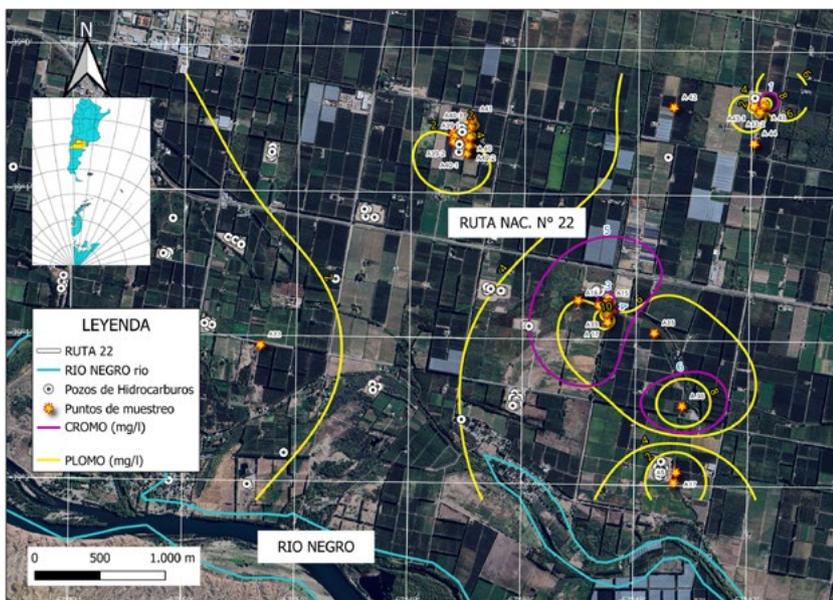
Encontramos que los suelos agrícolas alrededor de las plataformas petroleras son de clase altamente apta para cualquier tipo de cultivo, sin presentar limitaciones edáficas permanentes o transitorias en la mayoría de los casos evaluados (FIGURA 2). Además, se ha detectado la presencia de hidrocarburos en los suelos (Roca *et al.*, 2024), aunque en niveles por debajo de los valores guía establecidos por la nor-

FIGURA 2. Mapa de Aptitud de suelos Allen (USBR), Río Negro



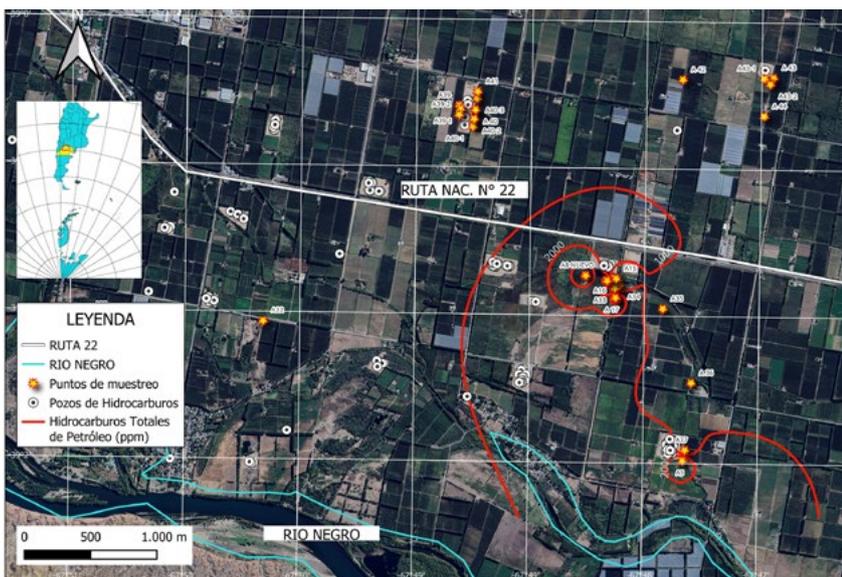
Fuente: elaboración propia (datos de octubre 2024).

FIGURA 3. Mapa de detección de metales pesados (cromo total y plomo) en Allen, Río Negro



Fuente: elaboración propia (datos de octubre 2024).

FIGURA 4. Mapa de detección de hidrocarburos en suelo (hidrocarburos totales de petróleo en ppm) en Allen, Río Negro



Fuente: elaboración propia (datos de octubre 2024).

mativa de la provincia de Río Negro. Asimismo, se identificó la presencia de cromo total y plomo en las aguas subterráneas de la napa freática e hidrocarburos totales de petróleo en suelo (FIGURA 3 y 4).

Se evidencia el reemplazo de suelos agrícolas por plataformas petroleras entre 2010 y 2024, el cual es irreversible, y no solo implica la pérdida neta de superficie productiva (ver FIGURA 5), sino también un riesgo adicional debido a la ausencia de zonas de amortiguamiento entre las áreas agrícolas y las actividades industriales, incrementando el riesgo de contaminación en los suelos y en los cultivos circundantes.

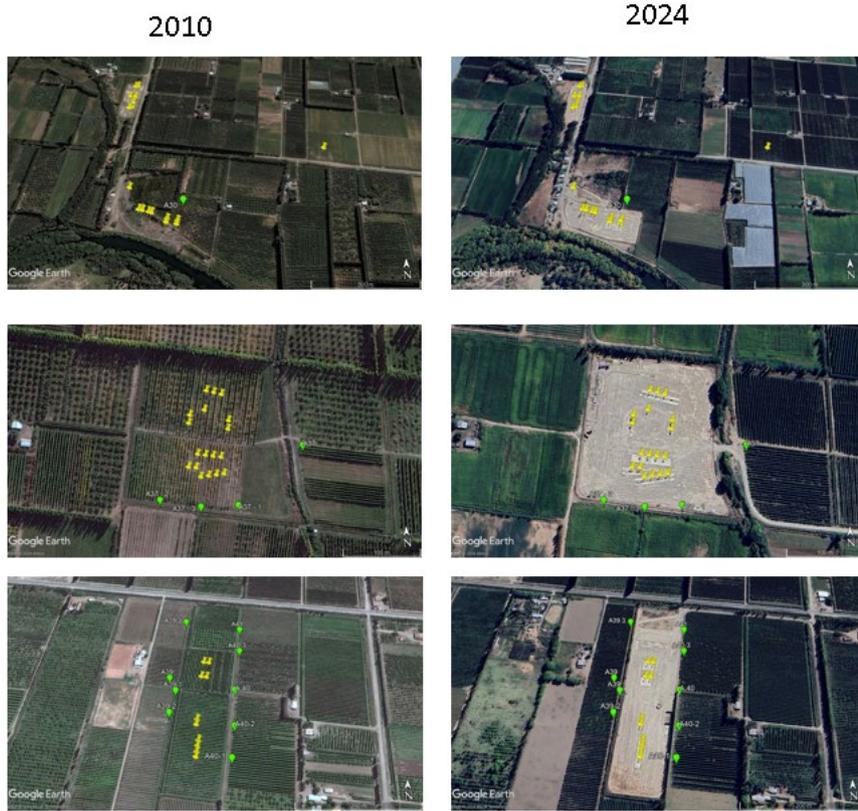
En la evaluación sobre los residuos petroleros se destaca la falta de información clara y accesible sobre el manejo de residuos líquidos y sólidos generados por el fracking. El almacenamiento y tratamiento de estos residuos, que incluyen lodos de perforación y agua residual con compuestos químicos peligrosos, debe ser gestionado con estrictos controles para evitar impactos negativos en el ciclo hidrológico y en las comunidades cercanas.

Conclusión

El presente análisis geoespacial sobre la expansión del fracking en la cuenca del río Negro pone de manifiesto los riesgos significativos para el medio ambiente y la salud pública que conlleva esta actividad. La alta densidad de pozos de hidrocarburos, muchos de ellos situados cerca de cuerpos de agua, áreas agrícolas y comunidades urbanas, representa un potencial de contaminación crítica. Aunque en los muestreos de suelo no se detectaron niveles alarmantes de hidrocarburos, la presencia de cromo y plomo en las napas freáticas por encima de los valores guía para la protección de la vida acuática es un hallazgo que requiere atención inmediata.

El uso de herramientas geoespaciales avanzadas, como la plataforma Observar.com.ar, ha permitido una

FIGURA 5. Tres sitios en Allen, Río Negro, con suelos muy aptos reemplazados por fracking entre el 2010 a 2024



Fuente: elaboración propia (datos de octubre 2024).

identificación precisa de las áreas de riesgo, destacando la importancia de aplicar estas tecnologías para mejorar la planificación y gestión ambiental. Sin embargo, se evidencia una falta de información clara y accesible sobre la gestión de los residuos generados por el fracking, lo que agrava la situación y limita la capacidad de respuesta frente a posibles incidentes.

En vista de estos resultados, es crucial avanzar hacia la implementación de regulaciones más estrictas y adaptadas al contexto local, que consideren la proximidad de los pozos a recursos hídricos y áreas productivas. Asimismo, se deben promover sistemas de monitoreo continuo, públicos y transparentes, que involucren a las comunidades locales en la vigilancia del impacto ambiental. La inversión en tecnologías más seguras y el fortalecimiento de la participación ciudadana son pasos esenciales para mitigar los riesgos y asegurar una explotación más sostenible y responsable de los recursos hidrocarbúricos en la región.

BIBLIOGRAFÍA

Castaldi, F., Halil Koparan, M., Wetterlind, J., Žydelis, R., Vinci, I., Özge Savaş, A., Kıvrak, C., Tunçay, T., Volungevičius, J., Obber, S., Ragazzi, F., Malo, D., y Vaudour, E. (2023). Evaluación de la capacidad de las series temporales de Sentinel-2 para estimar el contenido de carbono orgánico y arcilla del suelo a escala local en tierras de cultivo. *ISPRS Revista de Fotogrametría y Teledetección*, 199, 40– 60. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.03.016>

Chakraborty, J. y Maantay, J. A. (2011). Proximity analysis for exposure assessment in environmental health justice research. *Geospatial analysis of environmental health*, 111-138.

González, A., & Tomasevich, I. (2015). *Disponibilidad de recursos y condiciones agroclimáticas de la provincia de Río Negro*. Proyecto FAO UTF ARG 017: Desarrollo Institucional para la Inversión. Río Negro.

Jackson, R. B., Vengosh, A., Carey, J. W., Davies, R. J., Darrah, T. H., O'Sullivan, F., & Pétron, G. (2014). *The environmental costs and benefits of fracking*. *Annual Review of Environment and Resources*, 39(1), 327–362. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-031113-144051>

Meng, Q. (2015). *Spatial analysis of environment and population at risk of natural gas fracking in the state of Pennsylvania, USA*. *Science of the Total Environment*, 515, 198-206.

Orrego, L., Davies, C., González, A., Roca, J. C., Díaz Gómez, R., Mautner, M. y Forni, L. (2023). Mapeo de Incidentes en Vaca Muerta y su Influencia en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. *Boletín Digital De La FaCA*, 1(1), 17–21.

Roca, J. C., González, D. A., Orrego, L., Frabotta, A., Davies, C., Serventi, M., Díaz Gómez, R., Mautner, M., y Forni, L. (2024). Relevamiento exploratorio de contaminantes residuales de actividad hidrocarbúrica en suelos agrícolas de Allen, Río Negro. *XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 21–24 de mayo, San Fernando del Valle de Catamarca.

Rodríguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., y Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93-104.

U.S. Environmental Protection Agency. (2016). *Hydraulic fracturing for oil and gas: Impacts from the hydraulic fracturing water cycle on drinking water resources in the United States (Final report) (EPA/600/R-16/236F)*. <https://cfpub.epa.gov/ncea/hfstudy/recordisplay.cfm?deid=332990>

Vengosh, A., Jackson, R. B., Warner, N., Darrah, T. H., y Kondash, A. (2014). A Critical Review of the Risks to Water Resources from Unconventional Shale Gas Development and Hydraulic Fracturing in the United States. *Environmental Science & Technology*, 48(15), 8334–8348.

Vengosh, A., Mitch, W. A., y McKenzie, L. M. (2017). Environmental and Human Impacts of Unconventional Energy Development. *Environmental Science & Technology*, 51(18).

Wang, Y., Liu, D., Zhang, F., y Zhang, Q. (2022). Monitoring the spatio-temporal dynamics of shale oil/gas development with Landsat time series: Case studies in the USA. *Remote Sensing*, 14(5).

Vulnerabilidad social frente a desastres

Un índice para evaluar el riesgo en su expresión territorial

Anabel Calvo*, María Laura Contín**, Elvira Gentile***, Claudia Eleonor Natenzon**** y Constanza Riera*****

La cartografía temática tiene un importante potencial en el abordaje de la vulnerabilidad social (VS), especialmente cuando se construye a partir de información geoespacial (IG). Esta herramienta constituye una primera aproximación para el análisis de este componente, clave del riesgo. La elaboración de un Índice de Vulnerabilidad Social ante Desastres (IVSD) georreferenciado sustenta la generación de dicha cartografía y ha sido una de las principales líneas de aporte del Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente (PIRNA) al estudio de los desastres. Este enfoque permite complejizar la relación entre la vulnerabilidad y los demás componentes del riesgo: la peligrosidad, la exposición

y la incertidumbre. El IVSD tiene distintas versiones que están publicadas en visores y geoservicios de instituciones oficiales como el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

El índice permite visualizar espacialmente las heterogeneidades sociales de manera sintética, funcionando como una herramienta de diagnóstico inicial, útil en instancias de gabinete, y con la ventaja de ser flexible respecto a las variables empleadas. Además, cumple con las premisas de utilizar información libre y gratuita proveniente de estadísticas oficiales. En este artículo se presenta la fundamentación teórica del índice, se sistematiza su procesamiento en entornos de sistemas de información geográfica (SIG) y se discuten sus alcances. El objetivo es aportar a una comprensión más profunda y territorializada del riesgo, destacando la centralidad de la VS en su análisis, con vistas a fortalecer las capacidades de gestión.

Enfoque conceptual

Tradicionalmente en el análisis de los desastres se ha priorizado el estudio de los fenómenos naturales y las amenazas asociados a ellos (Natenzon y Ríos, 2015). Sin embargo, desde las ciencias sociales y, particularmente, desde la *Teoría Social del Riesgo*, se sostiene que *los desastres no son naturales*, sino el resultado de una construcción social que involucra un evento peligroso y a una población vulnerable expuesta a él. En este marco, la vulnerabilidad social emerge como componente clave del análisis del riesgo (Natenzon y González, 2011).

El análisis de estas componentes y su concreción en desastres brinda elementos para comprender que la catástrofe no es una situación excepcional, sino el resultado de un proceso de múltiples dimensiones que se desarrolla en la "normalidad". Entendida como configuración previa a la ocurrencia del desastre, la VS tiene un ca-

rácter estructural o de base. Esta noción integra diferentes aspectos de la realidad social, económica, cultural, política, que se manifiestan en la pobreza, la exclusión, la pérdida de cohesión social y permite analizar la heterogeneidad social, es decir caracterizar en su complejidad diferentes situaciones e identificar gradientes (Natenzon, 2016). Al mismo tiempo, la VS puede ser definida como capacidad de respuesta individual o grupal ante riesgos. En este nivel de análisis, permite entender los diferentes grados de vulnerabilidad de un grupo social determinado y evaluar con qué recursos materiales y no materiales cuentan las personas para enfrentar los desafíos que imponen los riesgos de desastre eventualmente más severos.

El PIRNA cuenta con trayectoria en el estudio de la vulnerabilidad social como condición estructural del riesgo de desastres. Sus estudios permiten leer el riesgo como una manifestación territorial de las heterogeneidades sociales frente a la peligrosidad de los fenómenos, cualquiera sea el grado de intervención humana. En este marco, el Programa desarrolló una metodología para visibilizar espacialmente la VS a través de un IVSD, propuesta desarrollada y aplicada en diferentes contextos de la Argentina desde hace más de dos décadas.

Metodología del IVSD

El IVSD se construye como una herramienta de diagnóstico que permite expresar espacialmente la distribución de la vulnerabilidad social estructural frente a desastres. Se trata de un índice compuesto a partir de un conjunto de indicadores, basado en información pública y gratuita –principalmente los Censos Nacionales de Población, Hogares y Viviendas del Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC) – aplicable a diferentes escalas de análisis.

*Magister en Sociología Económica. Profesora e investigadora. Departamento de Geografía, Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente (PIRNA), Instituto de Geografía "Romualdo Ardissonne", Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. belcalvo-diaz@gmail.com

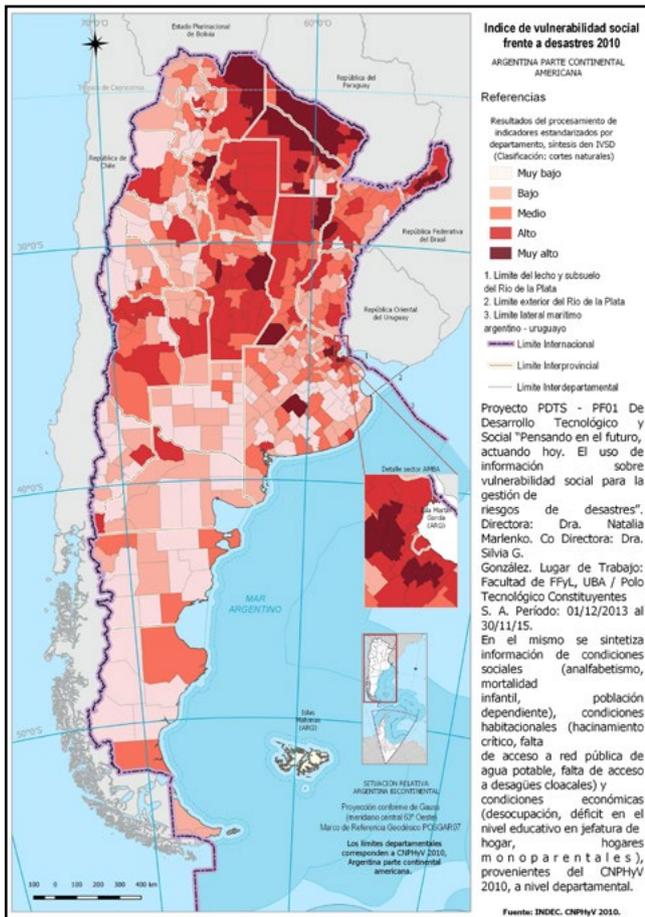
**Licenciada y Profesora de Geografía. Becaria interna doctoral, Instituto Geográfico Nacional-CONICET. Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente (PIRNA), Instituto de Geografía "Romualdo Ardissonne", Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. mlaura.contin@gmail.com

***Licenciada en Geografía. Departamento de Geografía, Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente (PIRNA), Instituto de Geografía "Romualdo Ardissonne", Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. elviragentile@gmail.com

****Doctora en Geografía, Profesora Emérita. Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente (PIRNA), Instituto de Geografía "Romualdo Ardissonne", Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. cnatenzon@gmail.com

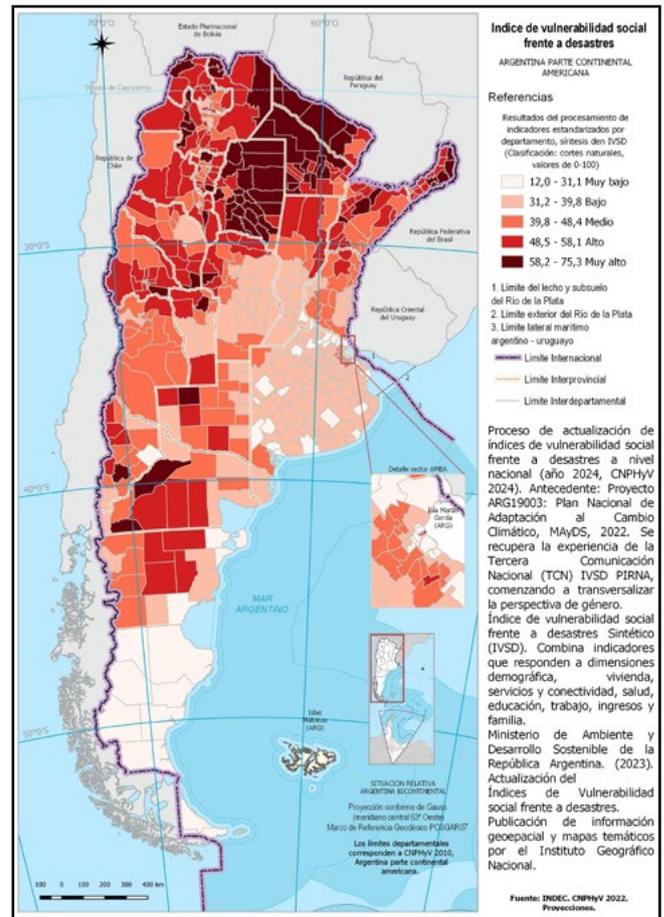
*****Doctora en Antropología. Investigadora Adjunta CONICET. Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente (PIRNA), Instituto de Geografía "Romualdo Ardissonne", Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. consriera@yahoo.com.ar

FIGURA 1. Índice de vulnerabilidad social frente a desastres 2010



Fuente: elaboración propia en base a publicación IG-GIRD.

FIGURA 2. Índice de vulnerabilidad social frente a desastres 2022



Fuente: elaboración propia en base a publicación IG-GIRD.

Para su construcción, se seleccionaron indicadores en función de su relevancia para reflejar aspectos significativos de la problemática social actual vinculada a los desastres, según lo que aportan las estadísticas oficiales.

De esta forma se consideraron indicadores en relación a las condiciones sociales, habitacionales y económicas de la población. Para el primer caso se incluyen analfabetismo, población pasiva (menores de 14 años y mayores de 65 años) y déficit en cobertura de salud/lejanía a centros de salud o mortalidad infantil. En relación a las condiciones habitacionales se aborda el hacinamiento crítico, la falta de acceso a agua potable por red pública y a redes de cloacas. Las condiciones económicas contemplan el desempleo, la educación incompleta de jefes/as de hogar y la presencia de hogares monoparentales.

Además de la selección de indicadores, es fundamental definir con precisión la unidad geográfica de análisis sobre la cual se elaborará y expresará el índice, ya que ello condiciona tanto la escala del diagnóstico como la posibilidad de comparación entre las unidades espaciales. El IVSD puede aplicarse en distintos niveles políticos administrativos según el objetivo de estudio –como son el nacional, provincial, departamental o a nivel de radio censal. Una vez determinada la unidad espacial, se delimita el universo de datos con el cual se trabajará de forma comparativa. De esta manera, se captan las heterogeneidades internas del territorio estudiado, permitiendo identificar los diversos gradientes de VS, en particular, las situaciones con perfiles sociales más desfavorables (PIRNA, 2015; y Calvo *et al.*, 2023).

Cada uno de los indicadores para elaborar el Índice puede ser reconsiderado de

acuerdo a los objetivos de la investigación e información disponible. Estos miden valores absolutos y relativos para reflejar tanto la magnitud como la proporción del fenómeno en cada unidad censal que se esté utilizando. Luego se ponderan los indicadores en una escala de 1 a 5 –Muy Bajo a Muy Alto– aplicando dos criterios de agrupamiento: por quintiles –para valores absolutos– y por cortes naturales –para valores relativos (PIRNA, 2015; y Calvo *et al.*, 2023).

Posteriormente, los indicadores se agrupan por dimensión para construir tres subíndices parciales referidos a condiciones sociales, habitacionales y económicas. Luego, la suma de todos los indicadores que constituyen estos subíndices genera un IVSD que sintetiza la situación de vulnerabilidad social estructural para cada unidad político administrativa o censal en que se esté expresando el índice. El trata-

miento de los datos se realiza en entornos de Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permite la representación cartográfica del índice y su análisis espacial. Este enfoque metodológico facilita la identificación de patrones territoriales de la concentración de los distintos gradientes de VS (PIRNA, 2015; y Calvo *et al.*, 2023).

Un ejemplo concreto de aplicación del IVSD es el desarrollado a partir de los datos del CNPhyV de 2010, a nivel de departamentos para todo el país, y publicado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), disponible en la plataforma IG-GIRD Información Geoespacial para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres¹. Observando este índice (FIGURA 1 de la página anterior) es posible identificar patrones espaciales de concentración de alta vulnerabilidad social en distintas regiones del país. Se destacan, por ejemplo, las regiones del norte y noreste, donde los niveles elevados del índice reflejan una combinación de condiciones sociales, habitacionales y económicas críticas.

Un caso más reciente corresponde a la actualización del índice utilizando los datos preliminares del CNPhyV 2022 (FIGURA 2 de la página anterior), en el marco de estudios orientados a los impactos diferenciales del cambio climático. En esta nueva versión se incorporaron variables con un enfoque interseccional, incluyendo la distinción por tipo de jefatura de hogar femenina o masculina, lo que permitió profundizar el análisis de las configuraciones vulnerables específicas, persistiendo, de acuerdo lo observado en el mapa, las regiones norte y noreste con valores de alta vulnerabilidad social.

Estos ejemplos permiten ilustrar la construcción y aplicación del IVSD como herramienta de diagnóstico. Su estructura flexible permite adaptarlo a distintas escalas espaciales y temporalidades, así como a diversas preguntas de investigación, manteniendo su capacidad descriptiva para orientar políticas públicas y estudios territoriales enfocados en el análisis y gestión del riesgo.

Reflexiones finales

El IVSD representa un aporte concreto y replicable, en diferentes escalas, para la gestión del riesgo de desastres desde una perspectiva estructural y crítica. Al centrarse en variables sociales, económicas y habitacionales, permite identificar territorios donde las condiciones de vida generan una predisposición mayor o menor a sufrir los efectos de eventos extremos. El índice visibiliza desigualdades y aporta evidencia para el diseño de políticas públicas. Su carácter abierto y basado en datos públicos facilita su adopción por gobiernos locales, equipos técnicos, universidades y organizaciones sociales.

Las bases estadísticas para la elaboración del índice corresponden a una selección relativa a la estructura socioeconómica básica o estructural de la población argentina. Esto plantea algunas limitaciones. En primer lugar, los indicadores censales que podrían utilizarse para ilustrar las diferentes variables de la VS son relativamente reducidos. En segundo lugar, la desagregación territorial de esos indicadores suele no estar disponible en forma pública para escalas grandes y el

análisis particularizado de los partidos/departamentos o las localidades requieren información desagregada a nivel de radio censal. Otra limitación surge con los cambios en la definición/medición de los indicadores entre censos, por lo que no son equivalentes; ello dificulta el ejercicio de comparación. En nuestro país, en oportunidad de cada censo, el INDEC redefine la batería de indicadores a relevar, dificultando la realización de análisis sincrónicos y diacrónicos simultáneos. Esta limitación obliga a realizar una arquitectura metodológica cuidadosa.

En relación a los resultados obtenidos, el IVSD debe considerarse un punto de partida para visualizar la distribución geográfica de las condiciones sociales vulnerables y no un producto en sí mismo; sobre esa base deberán realizarse estudios en profundidad para conocer con precisión en qué consiste y cómo surge dicha vulnerabilidad social. Además, hay que tener en cuenta qué se esconde bajo un valor único homogéneo y analizar las diferencias sociales existentes dentro de cada unidad política administrativa considerada.

Más allá de estas limitaciones, es una herramienta con potencia técnica que promueve una lectura política del riesgo, entendiendo que no todas las poblaciones enfrentan las amenazas con los mismos recursos y desde la misma posición. La noción de vulnerabilidad social recupera la historicidad y la dimensión política de los desastres. Desde esta perspectiva, actuar sobre la vulnerabilidad no es solo una cuestión técnica: es una intención política por transformar las bases mismas de la desigualdad territorial.

¹ <https://riesgo.ign.gob.ar/>

BIBLIOGRAFÍA

- Calvo, A., Riera, C., Contin, M. L. y Bachmann, L. (2023). Un enfoque sobre el cambio climático centrado en la vulnerabilidad social. En J. R. Dadon y R. Fevre (Eds.), *Adaptación al cambio climático. Instrumentos de evaluación y seguimiento para la gestión local* (Cap. 7, pp. 220–240). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: PIUBACC, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Secretaría de Investigaciones, UBA. <https://municipioscosteros.ar/wp-content/uploads/Adaptacion-al-Cambio-Climatico-Dadon-Fevre-SI-FADU-2023.pdf>
- Natenzon, C. E. (2016). Reflexiones sobre riesgo, vulnerabilidad social y prevención de catástrofes. *Ciência & Trópico*, 40(1), 99–108.
- Natenzon, C. E. y González, S. (2011). Riesgo, vulnerabilidad social y construcción de indicadores: Aplicaciones para Argentina. En *Argentina y Brasil: Posibilidades y obstáculos en el proceso de integración*. Universidad de San/Universidad de Buenos Aires.
- Natenzon, C. E. y Ríos, D. (Eds.). (2015). *Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades: Aportes desde la geografía y otras ciencias sociales para casos argentinos*. Buenos Aires: Imago Mundi.

SINAME: Sistema Nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias

Cartografía de riesgos para la prevención y la respuesta a emergencias.

María Leticia Cardoso* y Sebastián Portillo**

Introducción

El Sistema Nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias (SINAME), del Ministerio de Seguridad Nacional, es una pieza fundamental en la estrategia de gestión de riesgos y respuesta a desastres. El SINAME, que se integra dentro del marco de la Agencia Federal de Emergencias (AFE) y del Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR), se centra en el monitoreo constante de las amenazas, la visualización de alertas tempranas y la provisión de datos críticos a través de un portal web accesible para organismos dedicados a la gestión de riesgos tanto a nivel nacional, como provincial o municipal.

Este sistema posee equipamiento con diferentes tecnologías de comunicaciones e informática que facilitan las acciones en las distintas etapas vinculadas con la detección, alertas, seguimiento y monitoreo de eventos adversos, como así también, en la respuesta para una mejor toma de decisiones.

Físicamente el SINAME está constituido por una sala donde se monitorean los diferentes tipos de amenazas durante las 24 horas, los 365 días del año, con personal de la Agencia Federal de Emergencias, tanto de la Dirección Nacional de Prevención y Mitigación como de la Dirección Nacional de Operaciones y personal de las Fuerzas Federales de Seguridad (Policía Federal Argentina, Prefectura Naval Argentina, Gendarmería Nacional y Policía de Seguridad Aeroportuaria) que participan de la carga y seguimiento de la información. (FIGURA 1).

FIGURA 1. Sala de monitoreo del Sistema Nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias (SINAME)



Fuente: Ministerio de Seguridad Nacional.

En este artículo, se describe en detalle cómo el SINAME utiliza diferentes herramientas cartográficas desde su portal web para la reducción de riesgos y la atención a emergencias, analizando su importancia en la protección de la población y en la planificación de acciones preventivas.

El rol del SINAME en la gestión de riesgos

El SINAME fue creado en el año 2019, equipado a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, con el objetivo de coordinar y articular los esfuerzos de diversas instituciones para minimizar el impacto de desastres en Argentina. A través del seguimiento de alertas y la provisión de información relevante desde su portal web, el SINAME permite que las decisiones se tomen con base en datos precisos, facilitando tanto la planificación preventiva como la respuesta rápida y eficaz ante situaciones de emergencia.

Mediante la recopilación de datos brindados tanto por organismos científico-técnicos (OCT) nacionales integrantes del SINAGIR, como por las defensas civiles provinciales, en el SINAME se monito-

rean posibles amenazas como inundaciones, tormentas, incendios forestales, nevadas o sismos, entre otras, como así también la evolución de eventos que ya se encuentran en desarrollo. Estos datos visualizados en el portal web permiten que las autoridades puedan tomar medidas inmediatas frente a cualquier emergencia. Este enfoque integral no solo fortalece la capacidad de respuesta ante desastres, sino que también favorece la adopción de medidas preventivas que reducen la vulnerabilidad de las comunidades más expuestas a los riesgos.

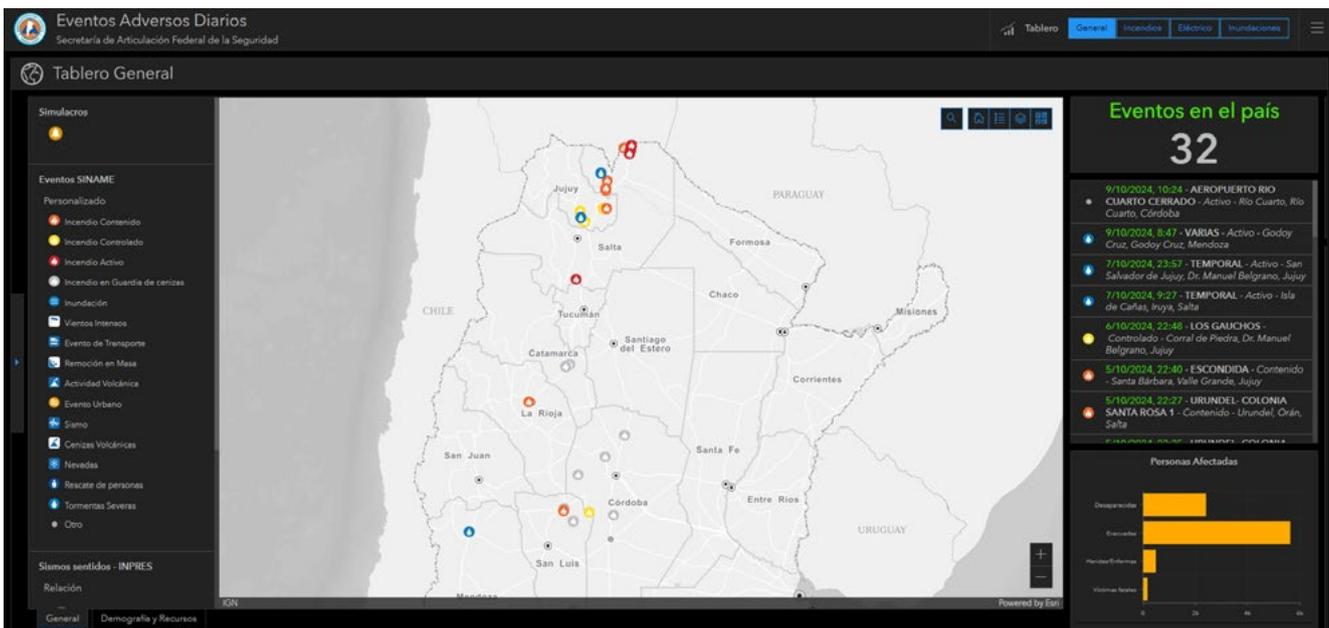
Portal web y cartografía de riesgo

La cartografía presente en el portal web del SINAME es una herramienta esencial para la gestión de riesgos. Estos mapas combinan información proveniente de múltiples OCT, como el Servicio Meteorológico Nacional, Instituto Nacional del Agua, Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica, Servicio Nacional de Manejo del Fuego, Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Servicio de Hidrografía Naval, Instituto Geográfico Nacional, Organismo Regulador de Seguridad en Presas, Mesa Nacional de

* Licenciada en Ciencias de la Comunicación. Asesora en Comunicación. Agencia Federal de Emergencias. Ministerio de Seguridad Nacional. leticia.cardoso@minseg.gov.ar

** Licenciado en Información Ambiental. Coordinador del Sistema nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias. Agencia Federal de Emergencias. Ministerio de Seguridad Nacional. portillo@minseg.gov.ar

FIGURA 2. Portal web SINAME. Tablero de eventos adversos diarios



Fuente: Ministerio de Seguridad Nacional

Monitoreo de Sequías, entre otras entidades especializadas, lo que garantiza la confiabilidad de la información disponible.

Entre los diferentes tableros dinámicos que se pueden encontrar, se destaca en primer lugar el de **Eventos Adversos Diarios**, donde se georreferencian todos aquellos eventos en desarrollo informados por las defensas civiles de las provincias o por organismos nacionales (FIGURA 2). En cada uno de estos eventos se cargan además datos referidos al mismo, como fecha de inicio, estado actual, recursos empleados en la atención, personas afectadas, entre otros. En segundo lugar, se encuentra el **Tablero de Monitoreo de Amenazas**, donde se reúne un gran número de capas, provenientes de los OCT, con los estados o previsiones de diferentes amenazas presentes en el país como por ejemplo alertas meteorológicas, riesgo de incendios, volcanes en alerta, posibles crecidas de cursos de agua u ocurrencia de sismos, entre muchas otras (FIGURA 3). De esta manera, permite analizar de manera conjunta las posibles interacciones entre diversos factores que pueden afectar a un mismo lugar, sumado a capas que reflejan de diversas maneras la vulnerabilidad de la población expuesta a dichos factores. La mayoría de estas capas son de actualización continua y automática, lo que per-

mite un seguimiento en tiempo real de los posibles eventos, incluso a través de imágenes satelitales y vistas en 3D.

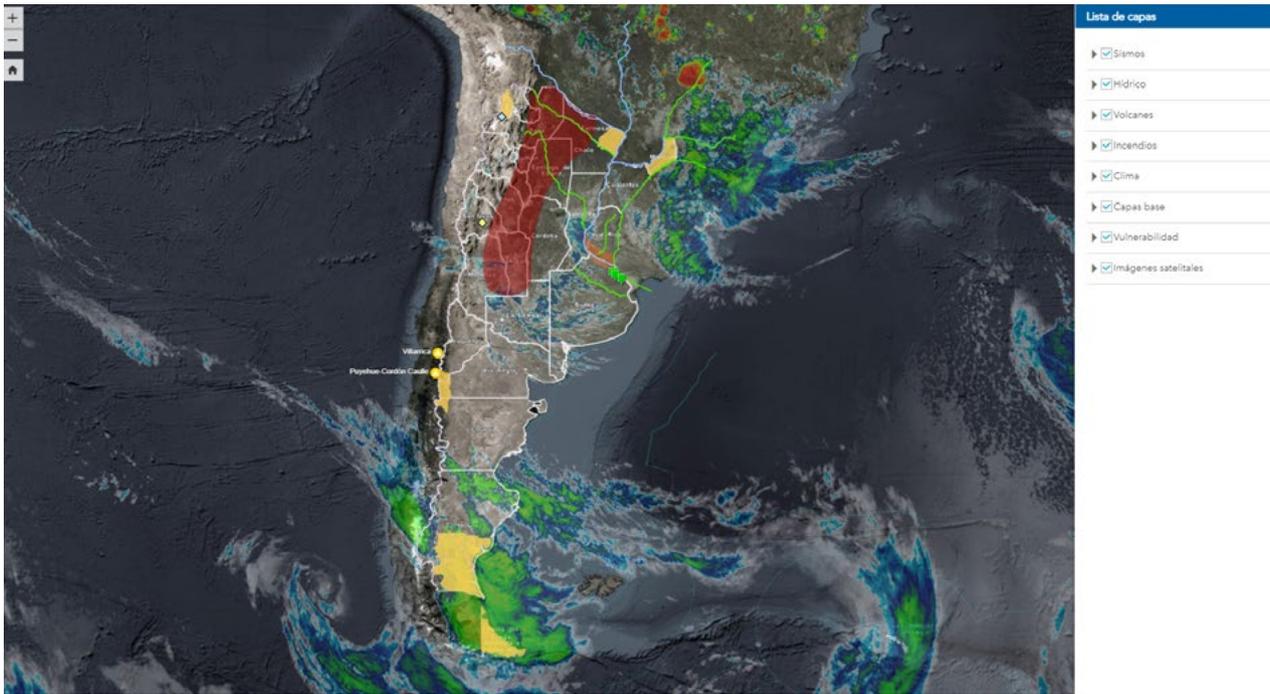
Otro componente destacado del portal es el informe **Escenario Trimestral de Riesgos**, el cual se elabora todos los meses en conjunto con los OCT e incluye una previsión de las posibles situaciones de riesgo en el territorio nacional para el próximo trimestre. Se abarcan en el mismo, amenazas tales como excedentes o déficit de precipitaciones, temperaturas extremas, posibles crecidas, áreas susceptibles a incendios o deslizamientos, sequías, volcanes en alerta, estado de las presas, monitoreo de epidemias y plagas, entre otras situaciones. De esta manera, el informe significa un importante insumo para la anticipación a mediano o largo plazo de posibles escenarios de riesgo.

También se elaboran en el portal mapas y tableros dinámicos específicos para monitorear situaciones que ameritan un seguimiento especial, tal como lo fue hace unos años la bajante del río Paraná y la posible erupción del volcán Láscar, o como lo fueron el invierno pasado las intensas nevadas en Santa Cruz o más tarde los incendios en el Delta del Paraná o como lo fueron este año los incendios forestales en Patagonia o las últimas inundaciones en Buenos Aires.

Otra de las herramientas más importantes de la plataforma es la de **Análisis de Impacto**, donde a partir de un punto elegido en el mapa y estableciendo un área de influencia desde dicho sitio, puede identificar los diferentes elementos presentes en el área, los cuales surgen del entrecruzamiento con las diferentes capas incluidas en el mapa. De tal modo, permite analizar por ejemplo, la cantidad de población expuesta, las localidades, barrios populares, escuelas, redes de energía, como así también los recursos disponibles dentro de la zona tales como fuerzas de seguridad, bomberos, hospitales, fuerzas armadas, etc. Esta información resulta crucial para la planificación de respuestas rápidas y eficaces, ya que permite a las autoridades identificar los niveles de exposición y los recursos necesarios para coordinar su despliegue de manera eficiente.

Por último, existen otras secciones en el portal donde se cuenta por ejemplo con un mapa de eventos históricos y estadística asociada, o también con una serie de mapas dinámicos de escenarios de inundación que permiten estimar, para ciertas localidades, la población afectada según probables alturas de cotas de una crecida.

FIGURA 3. Portal web SINAME. Tablero de monitoreo de amenazas



Fuente: Ministerio de Seguridad Nacional

Prevención de riesgos y planificación

Como se explicó, el éxito del SINAME depende en gran medida de la colaboración entre diversos organismos científicos técnicos y áreas del gobierno. Además, facilita la coordinación entre entidades nacionales, provinciales, y locales en la respuesta a emergencias. La plataforma web permite que las diferentes agencias compartan información y recursos en tiempo real, lo que es crucial para una respuesta rápida, coordinada y eficiente. Esta capacidad de integración y colaboración es una de sus fortalezas más importantes, ya que garantiza que todas las partes involucradas en la gestión de emergencias estén alineadas e igualmente informadas.

Por otro lado, el uso del portal web no se limita sólo a la respuesta a emergencias; también es una herramienta valiosa para la prevención de riesgos. Al analizar los mapas y los datos históricos disponibles en la plataforma, autoridades nacionales, provinciales o municipales, pueden identificar tendencias y patrones en la ocurrencia de desastres. Esto permite la elaboración de planes de contingencia y la implementación de medidas preventivas que reduzcan la vulnerabilidad de las comunidades. Por ejemplo, a partir

de los mapas del portal, se podría evaluar zonas donde resulte necesario la construcción de defensas, la reubicación de viviendas, o la implementación de sistemas de alerta temprana. También configuran un insumo importante para la planificación territorial y la construcción de ciudades más seguras para la comunidad, o para todo tipo de política pública destinada a reducir la vulnerabilidad de la población.

Desafíos y oportunidades futuras

El SINAME presenta oportunidades significativas para la innovación en la gestión de riesgos y la respuesta a emergencias. La incorporación de nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, podría mejorar en un futuro la precisión de las predicciones y la velocidad de respuesta del sistema. Además, el desarrollo de aplicaciones móviles basadas en el sistema, podría facilitar el acceso a la información crítica, mejorando la capacidad de las diferentes jurisdicciones para prevenir o responder a emergencias.

Conclusión

En conclusión, el SINAME se consolida como una herramienta esencial para la gestión de riesgos y la respuesta a emer-

gencias en Argentina. Su capacidad para integrar y coordinar información de múltiples organismos científicos y niveles de gobierno en sus mapas, a través de un portal web accesible y dinámico, permite a las autoridades tomar decisiones informadas y actuar de manera eficiente ante situaciones de riesgo. Además, el uso de cartografía avanzada y la recopilación de datos en tiempo real fortalecen tanto la prevención como la planificación de respuestas, lo que resulta crucial para minimizar el impacto de desastres en la población.

Mirando hacia el futuro, el SINAME tiene el potencial de seguir evolucionando con la incorporación de nuevas tecnologías que mejoren aún más su capacidad predictiva y de respuesta. La innovación tecnológica, junto con un enfoque en la colaboración interinstitucional, posicionan al SINAME, a la Agencia Federal de Emergencias y al Ministerio de Seguridad Nacional, como un modelo de referencia en la gestión integral de riesgos. Su desarrollo continuo no solo beneficiará a Argentina, sino que también puede servir como ejemplo para otros países en la región que enfrentan desafíos similares en la gestión de emergencias. ■

Información espacial para la gestión de desastres

Lighezzolo Andrés*, Mariana Horlent** y Marcelo Colazo***

El 4 de octubre de 1957, la Unión Soviética lanzó el Sputnik 1, el primer satélite artificial de la historia. Sesenta y ocho años después, la tecnología espacial ha evolucionado de manera exponencial, con aplicaciones que abarcan desde la comunicación y navegación, hasta el ámbito militar y la observación de la Tierra.

Hoy en día, según el índice de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre, elaborado por la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre (UNOOSA) (United Nations Office for Outer Space Affairs. Outer Space Objects Index. 2024), existen más de 10.000 satelitales orbitando la Tierra contribuyendo significativamente al desarrollo global. Entre estos desarrollos, el sector de observación de la Tierra ha jugado un papel clave en tres pilares fundamentales del desarrollo humano sostenible: el económico, el ambiental y el social.

En el eje económico, la tecnología satelital ha impulsado numerosos sectores, siendo un ejemplo destacado la agricultura, donde el monitoreo de cultivos y la optimización del uso de recursos han mejorado significativamente la productividad (Wang *et al.*, 2024). En el eje ambiental, los satélites brindan la posibilidad de realizar un seguimiento constante de los ecosistemas, facilitando, entre otras cosas,

la vigilancia de la deforestación y la preservación de la biodiversidad (Kacic *et al.*, 2022). En el eje social, que también tiene un impacto transversal en los otros dos, la tecnología espacial es fundamental para la anticipación y respuesta temprana ante desastres naturales (Madry, S. 2015).

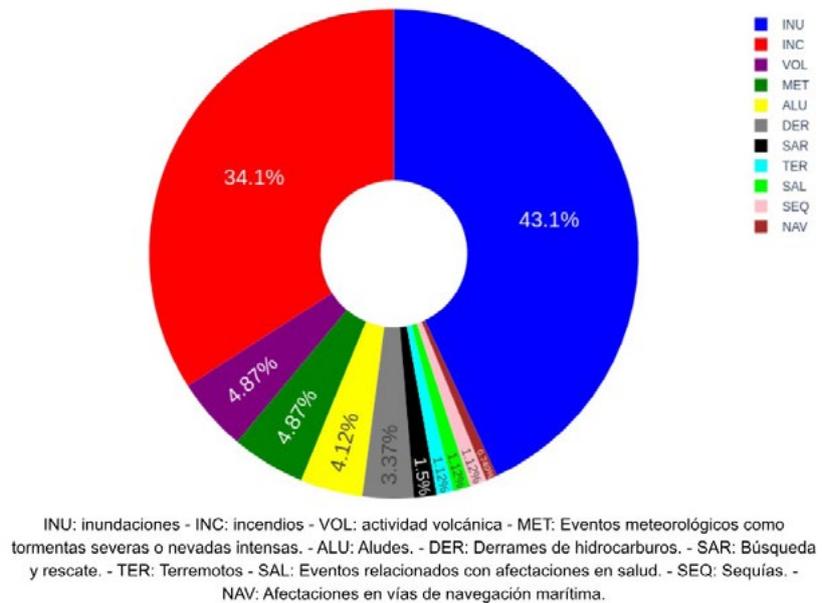
El rol de la CONAE en la gestión de desastres

En este contexto, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), a través de su Unidad de Emergencias y Alertas Tempranas (UEAT), trabaja sistemáticamente en la respuesta ante emergencias o desastres generando información geoespacial destinada a los usuarios con incumbencia en la gestión de riesgos

y desastres (Usuarios Autorizados) (Lanfri, M. *et al.*, 2017).

Desde el año 2014 hasta la actualidad, la UEAT ha trabajado en 267 emergencias nacionales e internacionales. Cada requerimiento de información por parte de un usuario autorizado, ante la ocurrencia de una emergencia, dispara un ciclo de trabajo llamado activación que va desde el procesamiento de los datos crudos a la generación de información útil y su posterior distribución. Los tipos y el porcentaje de activaciones trabajadas pueden observarse en la FIGURA 1. La información mayormente requerida por los usuarios autorizados son las inundaciones y los incendios, sumando entre ambos aproximadamente el 77%.

FIGURA 1. Porcentaje de cada tipo de desastres trabajados en la UEAT en el periodo 2014-2024



Fuente: CONAE - Unidad de Emergencias y Alertas Tempranas.

* Magister en Ciencias, Coordinador de la Unidad de Emergencias y Alertas Tempranas de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales. alighezzolo@conae.gov.ar

** Ingeniera Forestal, Subgerenta de Servicios al Usuario de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales.

*** Doctor en Astronomía, Gerente de Vinculación Tecnológica de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales.

FIGURA 2. Distribución de los desastres trabajados en la UEAT según tipo (2014-2024)



Fuente: CONAE – Unidad de Emergencias y Alertas Tempranas.

El trabajo continuado en diversos tipos de desastres a lo largo del tiempo ha permitido desarrollar un mapa de sus ubicaciones (FIGURA 2), revelando ciertos patrones espaciales. Tal como se observa en el mapa, las inundaciones se concentran mayoritariamente en las regiones que van desde el centro hacia el norte del país, con una frecuencia especialmente alta en la zona del Litoral. Por otro lado, los incendios muestran una alta incidencia en áreas serranas y montañosas, destacándose el centro y el suroeste del territorio.

Además de estos patrones espaciales, algunos desastres muestran una fuerte correlación con los patrones climáticos. Por ejemplo, las inundaciones son más comunes durante los periodos de lluvia, mientras que los incendios suelen incrementarse en épocas de escasas precipitaciones.

La combinación de esta información contextual y los datos geoespaciales específicos para cada desastre resulta fundamental para una gestión más eficiente. Esto permite una mejor preparación anticipada y facilita la planificación en la adquisición de nuevas imágenes, con el objetivo de optimizar la toma de decisiones por parte de los organismos competentes, contribuyendo a la mitigación de los impactos.

Casos prácticos del uso de información geoespacial en emergencias

Se muestran a continuación ejemplos concretos de uso de la información geoespacial en tres diferentes desastres.

Las inundaciones

Una de las regiones más afectadas por inundaciones es el Litoral Argentino, donde los ríos Paraná y Uruguay impactan especialmente en las localidades ribereñas. En mayo de 2024, lluvias intensas en el sur de Brasil, con precipitaciones muy elevadas, provocaron un aumento significativo en los caudales de los ríos aguas abajo, causando inundaciones en varias localidades, entre ellas Concordia, en la provincia de Entre Ríos.

La FIGURA 3 muestra un mapa generado durante dicha situación, donde la imagen satelital revela cómo el agua ha ingresado en varios sectores de la ciudad. Además, el mapa presenta un análisis preliminar de las construcciones potencialmente afectadas por la inundación, gracias a técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes. Estas técnicas permiten extraer información vectorial tanto de las edificaciones como de las masas de agua presentes. Al superponer estas capas, se puede estimar el número de construcciones que podrían haber sido impactadas.

Los incendios

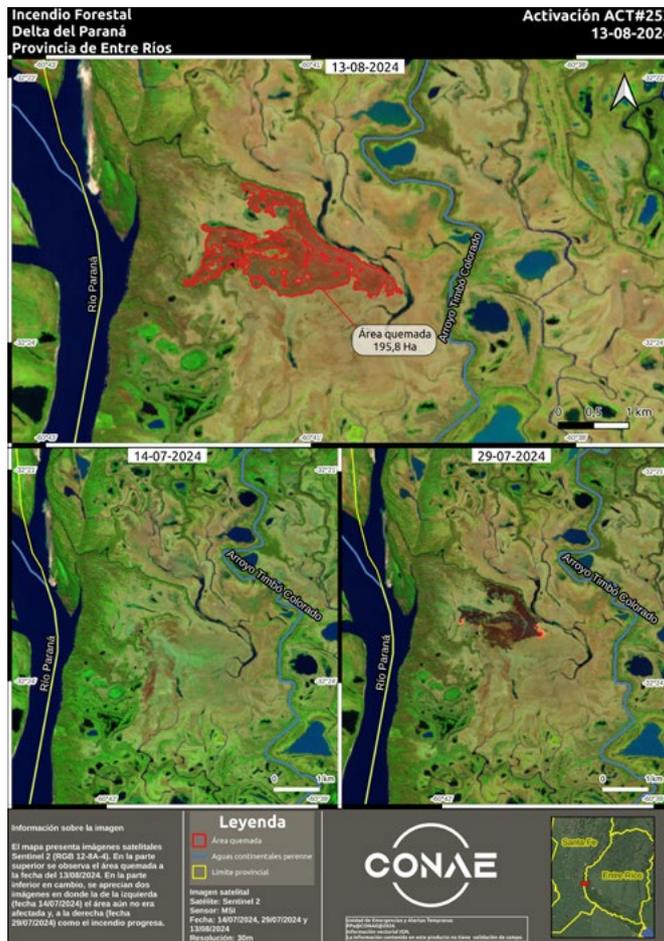
Si bien, como se mencionó previamente, los incendios son un evento recurrente en las zonas serranas y cordilleranas del país, otra región crítica es el Delta del Paraná, donde los incendios no solo son frecuentes, sino también generan problemáticas adicionales vinculadas a la salud. La FIGURA 4 ilustra la evolución de un incendio a lo largo del tiempo mediante tres imágenes de diferentes fechas, en las cuales se ha cuantificado el área afectada utilizando técnicas de procesamiento de imágenes basadas en el cálculo de índices espectrales antes y después del evento. Además, se pueden complementar estos análisis con datos de otros sensores satelitales que permiten observar, en tiempo casi real, la dirección de las columnas de humo, que puedan estar impactando en las localidades cercanas.

FIGURA 3. Mapa temático sobre inundaciones en la localidad de Concordia, Entre Ríos



Fuente: CONAE – Unidad de Emergencias y Alertas Tempranas.

FIGURA 4. Conteo de áreas quemadas en un incendio del Delta del Paraná

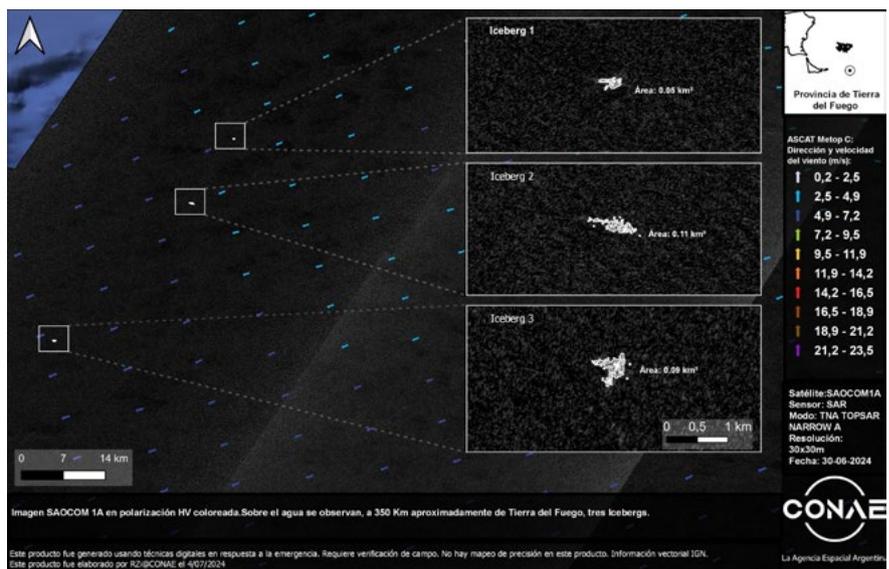


Fuente: CONAE – Unidad de Emergencias y Alertas Tempranas.

Navegación marítima

Un ejemplo destacado de trabajo preventivo ante desastres es el monitoreo de icebergs en rutas marítimas. Para este fin, se emplea tecnología de Radar de Apertura Sintética (SAR), como la que utilizan los satélites argentinos SAOCOM. La alta sensibilidad de estos sensores permite discriminar de manera precisa la presencia de icebergs, así como calcular sus dimensiones. Además, como información complementaria, se integran datos de vectores de viento, lo que permite inferir el posible desplazamiento de los icebergs y así mejorar la seguridad en la navegación. La FIGURA 5 muestra un mapa generado en instancias de monitoreo.

FIGURA 5. Monitoreo de ubicaciones y dimensiones de icebergs en rutas marítimas



Fuente: CONAE – Unidad de Emergencias y Alertas Tempranas.

Reflexiones finales

A lo largo del presente artículo se ha evidenciado la importancia estratégica de contar con tecnología satelital, tanto en la generación de datos primarios propios —como los obtenidos a través de la misión SAOCOM— como en el desarrollo de información derivada que resulta crucial para los organismos que gestionan emergencias a nivel nacional e internacional. La evolución constante de esta tecnología ha permitido mejorar significativamente la precisión y velocidad en la obtención de resultados, lo que ha optimizado las respuestas ante desastres. El conocimiento acumulado de manera continua a lo largo de los años desde la CONAE ha sido esen-

cial para transformar estos datos en información útil y aplicable, respaldando decisiones clave en la gestión de riesgos. Además, la creciente demanda de esta información por parte de las instituciones refleja tanto su valor práctico como el hecho de que los responsables de la gestión están mejor capacitados para interpretar y aplicar estos datos en su labor diaria, mejorando así la efectividad de sus respuestas.

En un contexto de creciente variabilidad climática, es esencial que un país como Argentina, que enfrenta una amplia gama de potenciales desastres, continúe fortaleciendo y expan-

diendo su infraestructura estratégica de tecnología satelital. Esta tecnología no solo permite monitorear y gestionar de manera más eficiente los eventos actuales, sino que también prepara al país para enfrentar los desafíos futuros asociados a los cambios en los patrones climáticos. La capacidad de anticipar, responder y mitigar el impacto de estos fenómenos depende en gran medida de una inversión sostenida en el desarrollo y expansión de la tecnología espacial, que provee herramientas cruciales para la gestión integral de riesgos y desastres.

BIBLIOGRAFÍA

- Kacic, P., & Kuenzer, C. (2022). *Forest biodiversity monitoring based on remotely sensed spectral diversity. A review*. *Remote Sensing*, 14(21), 5363.
- Lanfri, M., Porcasi, X., Albornoz, C., Scavuzzo, C. M., Lighezzolo, A., Aguirre, E., García Ferreyra, M. F., Rojas, N., & Torrusio, S. (2017). *Operative system of satellite imagery processing as support to the emergencies management*. En 2017 XVII Workshop on Information Processing and Control (RPIC) (pp. 1-6). IEEE.
- Madry, S. (2015). *Space systems for disaster warning, response, and recovery*. New York, NY, USA: Springer.
- United Nations Office for Outer Space Affairs. (n.d.). *Online Index of Objects Launched into Outer Space*. https://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id=
- Wang, J., Wang, Y., & Qi, Z. (2024). *Remote Sensing Data Assimilation in Crop Growth Modeling from an Agricultural Perspective: New Insights on Challenges and Prospects*. *Agronomy*, 14(9), 1920.

MONITOREANDO EL RIESGO DE LOS INCENDIOS: el humo como problema sanitario

Martín Amigo*, Cecilia Belén Cappa**, Florencia Sol García***, Leonardo Iula**** y Mariana Manteca Acosta*****

Donde hay humo...

Al pensar en desastres naturales, una de las primeras imágenes que solemos evocar es la de un incendio forestal, con llamas voraces consumiendo los árboles, avanzando hasta alcanzar los techos de zonas habitadas, mientras grandes nubes negras de humo se elevan al cielo. Durante el periodo de los años 2020 – 2025, estos escenarios, que tiempo atrás fueron ocasionales, se han convertido en un paisaje recurrente y preocupante a lo largo de nuestro país, llegando a declararse la emergencia ígnea nacional (Decreto 2/2023). Los incendios forestales no controlados por causas antrópicas —ya sean accidentales, como los descuidos de turistas en áreas protegidas, o intencionales, vinculados a emprendimientos inmobiliarios o disputas por tierras— han intensificado su impacto ambiental al combinarse con el aumento de la variabilidad climática, produciendo un encadenamiento de eventos climáticos extremos. Las consecuencias suelen ser devastadoras: grandes extensiones de bosques nativos y humedales arrasados por el fuego, la destrucción de

fauna silvestre, ganado y animales domésticos; la alteración de la vegetación y la degradación del suelo. Entre 2023 y 2024, se registraron extensas superficies quemadas, lo que da cuenta de la gran cantidad de biomasa liberada a la atmósfera como consecuencia de los incendios (FIGURA 1).

La mayoría de los estudios acerca de los incendios abordan los sistemas que estiman la probabilidad de ignición, predicen la propagación del fuego, evalúan la dificultad para controlarlo y calculan los daños materiales que podría causar, están enfocados en evaluar los factores que condicionan la ocurrencia de los incendios forestales, su comportamiento y efectos directos. Ahora nos gustaría abordar un aspecto a menudo subestimado del problema: ¿cómo afecta a nuestra salud el humo generado por los incendios forestales?

El humo proveniente de la quema de biomasa tiene efectos perjudiciales para el ambiente y para la salud humana. Además de los riesgos inmediatos, como las afecciones respiratorias y la irritación que sufren las personas expuestas cerca de los focos de incendio, la exposición prolongada a las partículas en suspensión puede generar problemas de salud crónicos. Estos efectos a largo plazo sobre la salud pública reciben menos atención que los daños visibles e inmediatos. El monitoreo y vinculación de estas problemáticas de salud suelen quedar escindidos de las tecnologías habituales, dificultando la ejecución de una planificación sanitaria y ambiental adecuada para mitigar estos impactos.

Frente a este panorama, proponemos analizar la importancia de implementar un Sistema de Monitoreo del Riesgo para la Salud, con un enfoque específi-

co en evaluar la calidad del aire afectada por el humo. Este sistema seguiría los rastros dejados por las cicatrices de la quema, con el objetivo de proteger la seguridad y la salud pública.

Sobre el riesgo

Una forma útil de comprender y gestionar riesgos es mediante una formulación clásica que permite descomponerlo en factores más manejables a nivel conceptual:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

En nuestro caso, el humo representa la amenaza, mientras que la vulnerabilidad refleja la capacidad de las comunidades para enfrentar y adaptarse a estos fenómenos. Esta perspectiva tiene una utilidad práctica clave: al identificar claramente ambos componentes, es posible diseñar estrategias para intervenir sobre ellos y reducir el riesgo total, incluso cuando la amenaza no pueda eliminarse por completo.

Esta formulación facilita la evaluación comparativa de riesgos entre diferentes zonas o momentos, y mejora la comunicación entre expertos, tomadores de decisiones y las comunidades afectadas, promoviendo una cultura de prevención más que de simple reacción post-evento. Para construir dicho sistema de monitoreo del riesgo, desde el Centro Nacional de Diagnóstico e Investigación en Endemo - Epidemias (CeNDIE) de la Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud “Dr. Carlos G. Malbrán” (ANLIS-Malbrán), nos propusimos abordar desde una perspectiva interdisciplinar la complejidad de esta problemática en sus dimensiones climáticas y socioambientales.

* Licenciado en Ciencias de la Computación. mamigo@anlis.gob.ar

** Licenciada en Ciencias Ambientales. ccappa@anlis.gob.ar

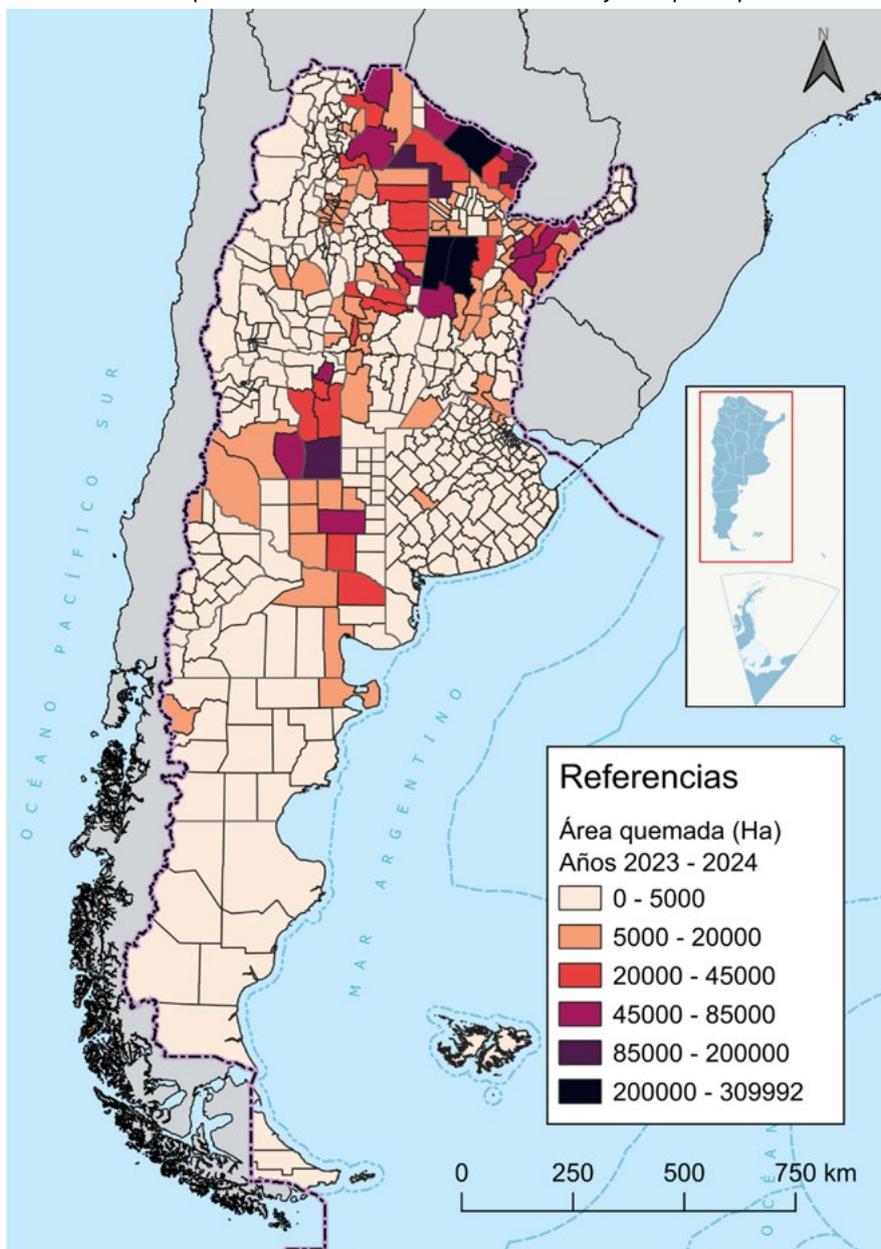
*** Licenciada en Sociología. fsgarcia@anlis.gob.ar

**** Doctor en Química Biológica. liula@anlis.gob.ar

***** Doctora en Ciencias Biológicas. Investigadora principal, Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud “Dr. Carlos C. Malbrán”. mantecaacosta@anlis.gob.ar

Todos los autores se desempeñan en el Centro Nacional de Diagnóstico e Investigación en Endemo - Epidemias (CeNDIE), ANLIS-Malbrán, Ministerio de Salud de la Nación.

FIGURA 1. Área quemada acumulada entre los años 2023 y 2024 por departamento



Fuente: elaboración propia a partir de datos adaptados de CONAE.

Sobre la amenaza

El humo es una combinación de contaminantes gaseosos (como el monóxido de carbono), contaminantes atmosféricos peligrosos (como los hidrocarburos aromáticos policíclicos), vapor de agua y material particulado (PM, por su sigla en inglés). Este último constituye la principal amenaza para la salud pública.

El PM es un término general para describir una mezcla compleja de gotas líquidas y partículas sólidas suspendidas en el aire. Aunque existen muchas fuentes de PM, las actividades relacionadas con la combustión –como la quema de biomasa– son de las más relevantes. Las partículas pueden variar ampliamente en tamaño, forma y composición: algunas son tan pequeñas que solo pueden observarse mediante microscopía electrónica. Pueden estar compuestas por ácidos (como el ácido sulfúrico), compuestos inorgánicos (como sulfato de amonio, nitrato de amonio y cloruro de sodio), químicos orgánicos, hollín, metales, polvo o suelo, e incluso materiales biológicos (como esporas de moho o polen).

Una de las fracciones más peligrosas es el PM2.5, partículas de 2.5 micrómetros de diámetro o menos, capaces de penetrar profundamente en los pulmones e incluso alcanzar el torrente sanguíneo afectando tanto al sistema respiratorio como al cardiovascular. Debido a su tamaño diminuto, pueden infiltrarse con facilidad en los hogares, lo que incrementa la contaminación del aire en interiores. Durante un incendio forestal, los niveles de partículas en suspensión pueden aumentar tanto que su presencia en el aire se vuelve visible a simple vista, lo que incrementa significativamente su peligrosidad, aún para quienes residen a kilómetros de distancia.

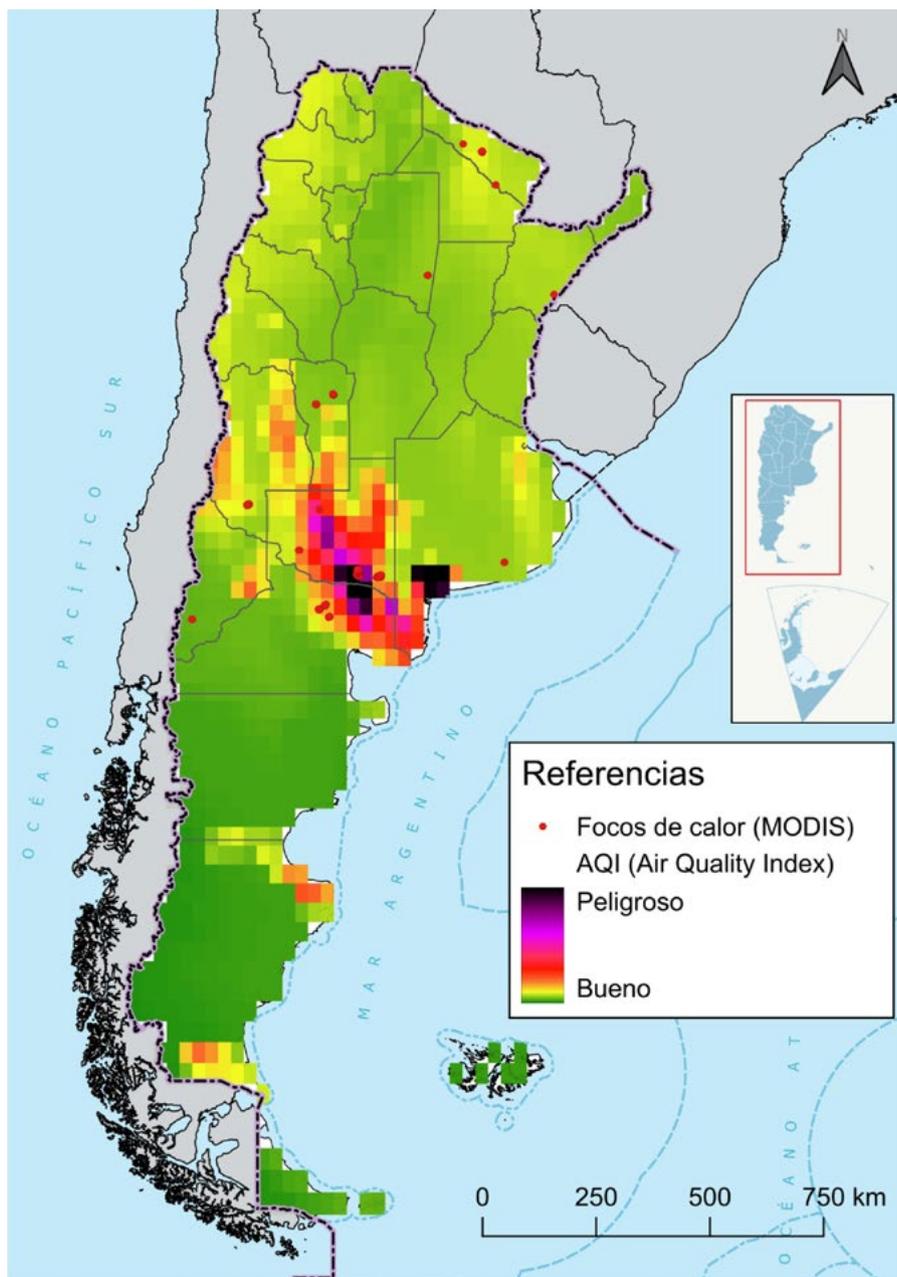
Sobre la exposición y la vulnerabilidad

Un número creciente de evidencias científicas vincula la exposición al humo de incendios forestales con una amplia variedad de efectos adversos para la salud (DeFlorio-Barker *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2015; Adetona *et al.*, 2016; Reid *et al.*, 2016; Wettstein *et al.*, 2018). Los datos muestran que no existe un nivel seguro de exposición: a mayor exposición, mayores son los riesgos. Entre los efectos identificados se encuentran desde molestias leves, como irritación ocular y de las vías respiratorias, hasta consecuencias graves como infecciones respiratorias, agravamiento del asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, fallas cardíacas y muerte prematura. Incluso en personas sanas, estas exposiciones pueden provocar una reducción transitoria de la función pulmonar e inflamación de los pulmones. Además, el PM puede afectar la capacidad del organismo para eliminar materiales extraños inhalados, como virus y bacterias, lo que incrementa la susceptibilidad a infecciones respiratorias.

Sabemos que las exposiciones de corto plazo (de días a semanas) se han asociado con la exacerbación de enfermedades respiratorias y cardiovasculares preexistentes, así como con mortalidad prematura (US Environmental Protection Agency, 2009). Aunque aún son escasos, algunos estudios epidemiológicos han comenzado a analizar los efectos acumulativos de la exposición persistente al humo de incendios, encontrando evidencia de que la exposición ocupacional continua al humo de incendios, afecta directamente la función pulmonar.

Según estos trabajos los grupos más vulnerables a estos efectos incluyen personas con enfermedades respiratorias o cardíacas preexistentes, niños, adultos mayores, embarazadas, trabajadores expuestos al aire libre y poblaciones en situación socioeconómica desfavorable. Estos resultados

FIGURA 2. Focos de calor e Índice de calidad del aire (AQI) correspondiente al 30 de enero de 2017



Fuente: elaboración propia a partir de los modelos WRF-CHIMERE-EDGAR (CONAE) y AQI (EPA) y los focos de calor descargados del portal FIRMS (NASA).

señalan sus propias limitaciones, y ponen en evidencia que no puede entenderse la vulnerabilidad sólo con una perspectiva biomédica. La vulnerabilidad social constituye un componente fundamental en la caracterización del riesgo. Mientras que las miradas más reduccionistas que lo asocian únicamente con la exposición física frente a amenazas naturales, la vulnerabilidad social refiere a las estructuras socioeconómicas presentes con las que estas poblaciones cuentan, que condicionan su capacidad de respuesta y recuperación (Natenzon, 2004). En la propensión a quienes sean potencialmente afectadas por los impactos de peligros específicos, es importante identificar no solo las condiciones socioeconómicas previas a la ocurrencia del evento, sino también la dimensión cultural asociada a la percepción y comprensión del riesgo a las que están expuestas. De esta manera, una misma amenaza puede generar una distribución desigual del riesgo de acuerdo a las diferentes condiciones socioeconómicas de las comunidades afectadas, los niveles de organización junto a sus políticas e instituciones orientadas a prevenir y mitigar sus efectos (Barrenechea *et al.*, 2003).

Aplicando la ecuación en territorio

Desde el CeNDIE - ANLIS-Malbrán, analizamos el riesgo del humo de incendios forestales para la salud humana. Este es un desafío que implica integrar datos químico-atmosféricos para estimar la calidad del aire, datos de salud para ponderar las afectaciones biomédicas y las desigualdades socioeconómicas que condicionan la vulnerabilidad de cada comunidad frente a esta amenaza.

Para ello, utilizamos el modelo WRF-CHIMERE-EDGAR¹ (Ferreyra *et al.*, 2016),

un sistema avanzado de simulación de dispersión, transformación y deposición de contaminantes atmosféricos, implementado a escala nacional por el Instituto Gulich - CONAE. Este modelo integra el inventario global de emisiones antropogénicas EDGAR (Artés *et al.*, 2019), con datos meteorológicos locales. Además, para representar con mayor precisión la quema de biomasa y su impacto atmosférico, se incorporan datos satelitales de focos de calor y mapas de área quemada provenientes de los sensores MODIS y VIIRS. Esta información permite identificar en tiempo casi real las zonas activas de incendios y estimar la cantidad de biomasa consumida, lo que es fundamental para modelar la emisión de contaminantes.

Gracias a esta integración, fue posible calcular cómo se transportan, transforman y depositan diversos contaminantes, entre ellos el material particulado fino (PM2.5), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), ozono troposférico (O₃) y compuestos orgánicos volátiles, todos ellos relevantes para evaluar los impactos del humo. Con estos resultados, calculamos el Índice de Calidad del Aire siguiendo el algoritmo de la Environmental Protection Agency (US Environmental Protection Agency, 2024), que sintetiza la concentración de múltiples contaminantes en un único valor indicativo del nivel de amenaza ambiental, facilitando la interpretación por parte de autoridades y la población. Esta herramienta permite visualizar los niveles de contaminación atmosférica en todo el territorio nacional generar pronósticos diarios y simulaciones históricas de la calidad del aire. En la FIGURA 2 se puede observar un ejemplo creado a partir de datos de enero del 2017, donde se registraron importantes incendios en La Pampa, sur de Buenos Aires y noreste Río Negro.

Continuando con la formulación del riesgo, la vulnerabilidad de la población se estimó mediante el Índice de Vulnerabilidad Social frente a Desastres (IVSD), desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional. Este índice caracteriza la vulnerabilidad social a partir de tres dimensiones fundamentales: condiciones sociales (por ejemplo, porcentaje de población sin cobertura de salud y nivel educativo), habitacionales (como hacinamiento crítico y tipo de materiales de construcción) y económicas (incluyendo tasa de desocupación y acceso a servicios básicos).

Para enriquecer esta caracterización, agregamos datos del Ministerio de Salud y otros organismos como el INDEC, que aportan información sobre la prevalencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, tasas de hospitalización por patologías sensibles a la calidad del aire (como asma, EPOC y neumonía), datos demográficos y distribución geográfica de grupos poblacionales especialmente vulnerables (niños, adultos mayores, embarazadas y trabajadores expuestos al aire libre). Este enfoque integral permite no solo mapear la amenaza ambiental, sino también identificar las poblaciones que enfrentan mayores riesgos para su salud, contribuyendo a orientar acciones de mitigación y respuesta más efectivas.

Actualmente estamos trabajando en la integración de estas herramientas en un Mapa Nacional de Riesgo frente a Incendios, que combine la dimensión ambiental y la social para ofrecer un panorama dinámico y actualizado de los riesgos asociados a la quema de biomasa en la Argentina.

¹ WRF-CHIMERE-EDGAR corresponde a la combinación de tres herramientas: Weather Research and Forecasting model (WRF), modelo de pronóstico meteorológico; Chemical transport model for Investigating MEchanisms of atmospheric REactions (CHIMERE), modelo de transporte y química atmosférica; y Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), base de datos global de emisiones contaminantes de la Comisión Europea.

Donde hubo fuego...

La composición del humo puede variar considerablemente según el tipo de vegetación y para investigar sus efectos de forma rigurosa, es indispensable diferenciar entre la contaminación natural (como incendios forestales o polvo en suspensión) y la contaminación antropogénica (producida por la quema de combustibles fósiles u otras actividades humanas), evitando así sesgos que distorsionen los resultados.

En un contexto global donde los incendios forestales aumentan en frecuencia, extensión e intensidad, comprender los efectos crónicos de la exposición al humo resulta crucial. Se requieren estudios prospectivos para

avanzar en el conocimiento sobre los impactos a largo plazo, incluyendo no solo la salud respiratoria y cardiovascular, sino también efectos menos estudiados, como los impactos neurocognitivos y en la salud mental. Asimismo, es esencial investigar las características sociodemográficas de los subgrupos más vulnerables, que sufren de forma desproporcionada las consecuencias de esta exposición prolongada.

Contar con mejor evidencia científica no solo fortalecerá la capacidad de los profesionales de la salud pública para perfeccionar los mensajes de prevención y las estrategias de atención, sino que también permitirá planificar polí-

ticas más efectivas de mitigación y respuesta.

Los impactos en la salud no desaparecen cuando se apagan las llamas, porque, “donde hubo fuego, cenizas quedan”.

Agradecimientos

Nuestro especial agradecimiento a la Dra. María Fernanda García Ferreyra (Instituto Gulich) por su valiosa colaboración en la implementación del modelo WRF-CHIMERE-EDGAR, fundamental para la simulación y análisis de la dispersión de contaminantes atmosféricos en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Adetona, O., Reinhardt, T. E., Domitrovich, J., Broyles, G., Adetona, A. M., Kleinman, M. T., Ottmar, R. D., & Naeher, L. P. (2016). Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public. *Inhalation Toxicology*, 28(3), 95–139. <https://doi.org/10.3109/08958378.2016.1145771>
- Artés, T., Oom, D., de Rigo, D., Durrant, T. H., Maianti, P., Libertà, G., & San-Miguel-Ayanz, J. (2019). A global wildfire dataset for the analysis of fire regimes and fire behaviour. *Scientific Data*, 6(1), 296. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0312-2>
- Barrenechea, J., Gentile, E., González, S., & Natenzon, C. (2003). Una propuesta metodológica para el estudio de la vulnerabilidad social en el marco de la teoría social del riesgo. En S. Lago Martínez (Coord.), *En torno a las metodologías: abordajes cualitativos y cuantitativos* (pp. 179–196). Proa XXI.
- DeFlorio-Barker, S., Crooks, J., Reyes, J., & Rappold, A. G. (2019). Cardiopulmonary effects of fine particulate matter exposure among older adults, during wildfire and non-wildfire periods, in the United States 2008–2010. *Environmental Health Perspectives*, 127(3). <https://doi.org/10.1289/EHP3860>
- Environmental Protection Agency. (2009). Integrated science assessment (ISA) for particulate matter (Final Report, Dec 2009; EPA/600/R-08/139F). U.S. Environmental Protection Agency.
- Environmental Protection Agency. (2024). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)*. U.S. Office of Air Quality Planning and Standards.
- Ferreyra, M. F. G., Curci, G., & Lanfri, M. (2016). First implementation of the WRF-CHIMERE-EDGAR modeling system over Argentina. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(12), 5304–5314. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2588502>
- Liu, J. C., Pereira, G., Uhl, S. A., Bravo, M. A., & Bell, M. L. (2015). A systematic review of the physical health impacts from non-occupational exposure to wildfire smoke. *Environmental Research*, 136, 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.10.015>
- Natenzon, C. E. (2004). Las grandes inundaciones en el litoral argentino: Riesgo, vulnerabilidad social y catástrofes. *Encrucijadas*, 29. Universidad de Buenos Aires. <http://repositorioub.a.sisbi.uba.ar>
- Poder Ejecutivo Nacional. (2023). *Emergencia ígnea. Prórroga del Decreto N.º 6/2022 (Decreto N.º 2/2023)*. Boletín Oficial de la República Argentina. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/279086/20230105>
- Reid, C. E., Brauer, M., Johnston, F. H., Jerrett, M., Balmes, J. R., & Elliott, C. T. (2016). Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure. *Environmental Health Perspectives*, 124(9), 1334–1343. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409277>
- Wettstein, Z. S., Hoshiko, S., Fahimi, J., Harrison, R. J., Cascio, W. E., & Rappold, A. G. (2018). Cardiovascular and cerebrovascular emergency department visits associated with wildfire smoke exposure in California in 2015. *Journal of the American Heart Association*, 7(8). <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.007492>

¡Qué calor en la ciudad!

Riesgos para la salud de la población argentina por olas de calor

Matilde Rusticucci*, Silvia Fontán**, Francisco Chesini***, Lucía Bartolomeu****, Yanina Azas***** y Rosana Abrutzky*****

Introducción

El cambio climático es uno de los desafíos más complejos y apremiantes que enfrenta la humanidad en la actualidad. La evidencia científica indica que la actividad humana es la principal causa del calentamiento del sistema climático (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC, 2023). Además del aumento paulatino de las temperaturas medias, el cambio climático se manifiesta en la mayor frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos, entre ellos las olas de calor. Estas se definen como períodos en los que las temperaturas mínima y máxima igualan o superan, por al menos tres días consecutivos, cierto umbral calculado para cada localidad, tal como las define el Servicio Meteorológico Nacional (Herrera et al., 2018).

En las ciudades, las olas de calor se manifiestan de manera particularmente intensa debido a las islas de calor urbano. Este concepto refiere a que las áreas urbanas experimentan temperaturas más altas que las áreas rurales circundantes, causadas por las actividades humanas y la concentración de edificios y pavimentos, ya que son superficies con mayor capacidad de absorber y retener el calor, lo que puede aumentar la temperatura en hasta 10 °C en comparación con las áreas rurales (Camillioni y Barros, 1995). Esto tiene consecuencias para la salud humana, especialmente para los grupos más vulnerables como los niños y niñas, las personas adultas mayores y aquellas con enfermedades crónicas. Las condiciones de salud a lo largo del ciclo de vida de las personas y de las comunidades están en profunda relación con las condiciones de vida en las que se desarrollan, antecedentes biológicos, el ambiente y las posibilidades de acceso al sistema de atención y cuidados a la salud (Organización Mundial de la Salud, 2012). Entre las condiciones ambientales, el clima y sus variaciones tienen impacto directo e indirecto sobre la salud de las personas y sobre el sistema de atención. Así, múltiples investigaciones han encontrado asociación entre el

calor extremo y eventos de salud del sistema respiratorio, enfermedades cardiovasculares y otros trastornos de salud.

Entre los problemas de salud asociados con condiciones ambientales modificadas por las temperaturas se pueden encontrar:

- Enfermedades transmitidas por vectores: dengue, fiebre amarilla, leishmaniasis, malaria, chagas;
- Enfermedades transmitidas por roedores: leptospirosis, hantaviriosis, fiebres hemorrágicas virales;
- Enfermedades hídricas: diarreas, gastroenteritis, hepatitis, helmintiasis, toxoinfecciones alimentarias, marea roja;
- Comportamiento de los problemas respiratorios agudos y crónicos (asociados a mala calidad del aire);
- Stress y exacerbación de condiciones de salud mental.

Por otro lado, las islas de calor urbano pueden aumentar la demanda de energía para la refrigeración, lo que puede llevar a un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero y acentuación del cambio climático.

* Dra. en Ciencias de la Atmósfera. Profesora Emérita, Universidad de Buenos Aires. Investigadora Principal, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (UBA). matilde.rusticucci@gmail.com

** Socióloga. Docente Adjunta e Investigadora, Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de La Matanza. Directora del Programa de Investigación "Condiciones socioambientales y sistemas de atención a la salud". sfontan@unlam.edu.ar

*** Magister en Salud Pública. Becario, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Universidad Nacional de Avellaneda (UNDAV). fran.chesini@gmail.com

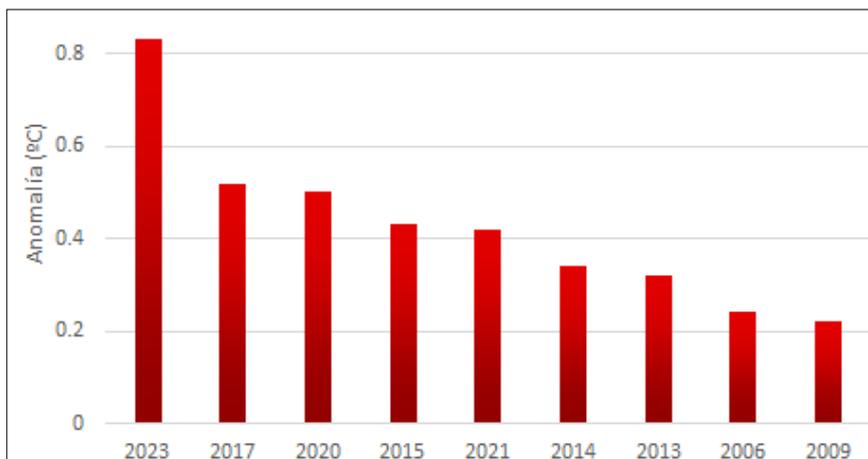
**** Bióloga y Epidemióloga. Docente, Universidad de Buenos Aires. Investigadora, Centro de Implementación e Innovación en Políticas de Salud, Instituto de Efectividad Clínica y Sanitaria. mlucia.bartolomeu@gmail.com

***** Médica Tocoginecóloga Especialista en Medicina reproductiva. Staff técnico, Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires. yanazas@yahoo.com.ar

***** Magister en Gestión Ambiental. Investigadora docente, Universidad Nacional de Avellaneda. rabrutzky@undav.edu.ar

El trabajo fue realizado en el marco del Laboratorio Interdisciplinario para el Estudio del Clima y la Salud (UBA).

FIGURA 1. Nueve años más cálidos en temperatura media a nivel nacional



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

El futuro llegó hace rato: tendencias de las olas de calor en Argentina

La temperatura en todo el país ha aumentado significativamente en los últimos años, entre 1960-2010 el incremento fue de 0,5 °C y en la Patagonia se alcanzó 1 °C de incremento (Barros *et al.*, 2015). Una muestra de ello es que los diez años más cálidos ocurrieron durante los últimos 20 años, como puede observarse en las FIGURAS 1 y 2.

Así como la temperatura media ha au-

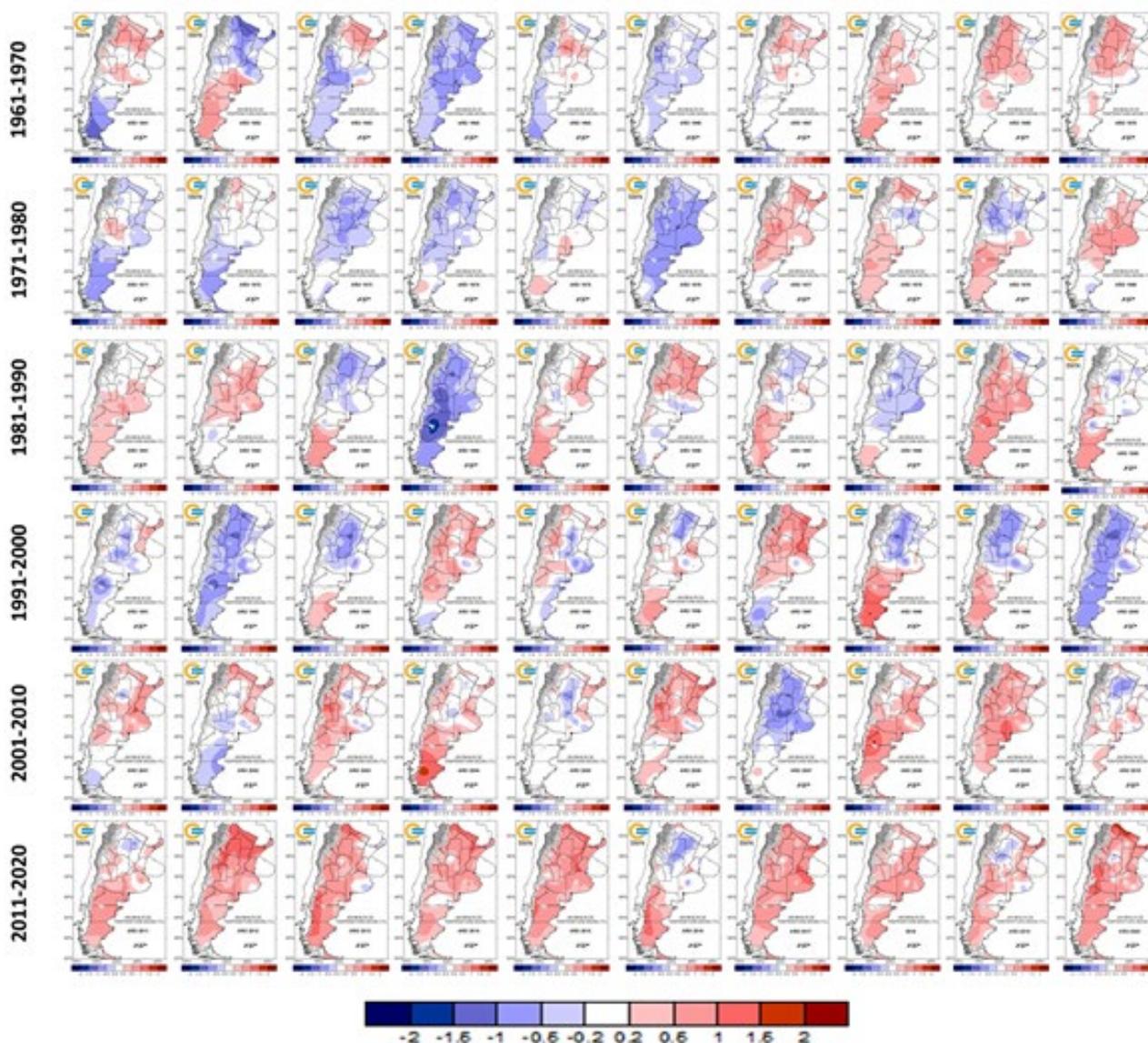
mentado, también lo ha hecho la frecuencia de olas de calor. En la figura 3 se observa un claro aumento en la cantidad de eventos de olas de calor por semestre cálido en todo el país, desde la temporada 1961/1962 hasta el verano 2023/2024, con dos picos en los años 2013-14 y 2021-2022-23.

Además, es necesario destacar que el calor extremo facilita la ocurrencia de otros peligros ambientales con impactos en la salud como los incendios de ecosistemas naturales o las floraciones algales nocivas, que producen afectación de la

disponibilidad de agua potable, o los ataques de palometas en cursos de agua de uso recreativo.

En relación a los incendios, los últimos años han sido testigos de un marcado aumento en la frecuencia, intensidad y alcance geográfico de los incendios en toda América del Sur. Este aumento se atribuye a una compleja interacción de factores climáticos (El Niño y La Niña, el calentamiento global) y actividades humanas como los desmontes, el avance de la frontera agrícola y de las urbanizaciones (Camargo *et al.*, 2024).

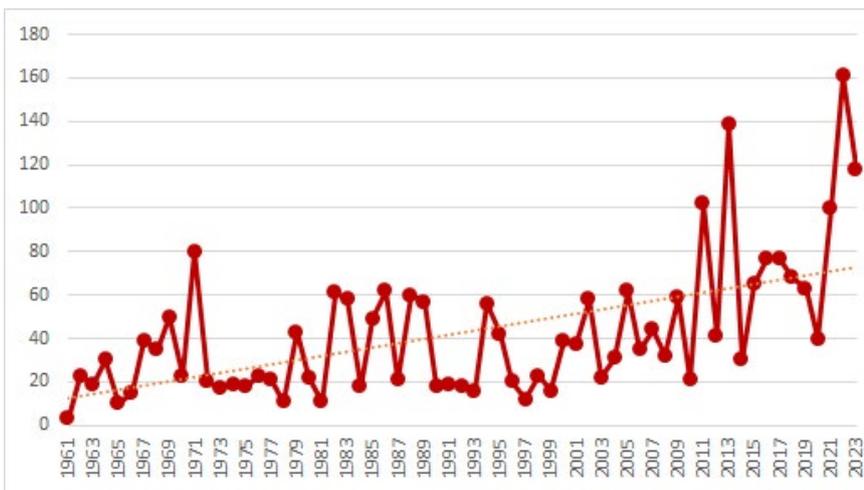
FIGURA 2. Anomalías de temperatura



Anomalía anual media desde 1961 respecto al valor climatológico normal de referencia 1981-2010. Los campos de desvío o anomalía sirven para visualizar rápidamente las zonas más cálidas (tonos rojos) o más frías (tonos azules) respecto al nivel medio del periodo. El color blanco indica que los desvíos observados están dentro del rango normal.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

FIGURA 3. Gráfico de frecuencia de olas de calor en Argentina



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Soy de la ciudad con todo lo que ves: sobre la vulnerabilidad de la población urbana

Para entender los efectos que estas amenazas ambientales pueden tener sobre la población del país, es necesario atender a los mecanismos por los cuales los peligros se convierten efectivamente en afectaciones a la salud. Los fenómenos mencionados al inicio, como las olas de calor y el aumento de las temperaturas extremas, junto con los modelos de desarrollo actuales (urbanización con poca e inefectiva regulación ambiental, insuficiente espacio verde urbano, sistema de transporte y distribución poco eficiente de la producción) contribuyen a intensificar situaciones de calor extremo en las ciudades. Aunque toda la población urbana está expuesta en mayor o menor medida a este peligro, la exposición es diferente dependiendo de la actividad laboral, posibilidades recreativas y características de la vivienda. Quien tenga acceso a un ambiente acondicionado durante su jornada laboral sufrirá menor exposición que aquellos que deben trabajar al aire libre, las personas que pueden permanecer sedentarias en los picos de temperatura estarán menos expuestas que quienes deban necesariamente realizar actividad física.

Pero no solamente los diferentes grupos de población se enfrentan a distintas exposiciones sino que las propias características de estos grupos inciden en la forma en que la exposición influye sobre

el efecto en la salud. Así, quienes padecen enfermedades crónicas, quienes viven en situación de calle, no tienen cobertura de salud, se encuentran en las edades extremas del ciclo vital o tienen alguna discapacidad, tendrán desde el punto de partida una situación más desventajosa que quienes no se encuentran en ninguno de estos grupos. Del mismo modo, una población con mayor cantidad de personas en alguno/s de estos grupos, será a priori una población en peores condiciones para enfrentar una amenaza ambiental. Por ejemplo, una ciudad con población envejecida, o con una base demográfica muy ancha (mayor cantidad de niños y niñas), tendrá mayor proporción de personas en edades extremas y, por lo tanto, será en principio más vulnerable a episodios de temperaturas extremas.

El peligro, en este caso el calor extremo, incide en distintos niveles de exposición y vulnerabilidad, dando lugar a efectos adversos en la salud. Además de sus impactos directos, como el síncope o el golpe de calor, puede contribuir a accidentes laborales, problemas de salud mental, agravamiento de enfermedades crónicas o preexistentes y partos prematuros. A nivel social, también puede generar la saturación del sistema de salud, la reducción de la productividad y otros problemas asociados.

En Argentina, se ha desarrollado un Sistema de Alerta Temprana para cada lugar del país, cuyo objetivo es activar

alarmas en función de los riesgos para la salud humana. Este trabajo intersectorial e interdisciplinario constituye una herramienta importante para la salud pública.

A nivel socio-comunitario, las diferentes vulnerabilidades pueden abordarse con el objetivo de proteger a la población, reforzar los factores protectores y el acceso a servicios de salud, disponibilidad de espacios verdes, redes vecinales, etc. De igual manera, la población trabajadora que por su actividad laboral se encuentre expuesta al calor extremo, si se enmarca en condiciones de trabajo registrado, ajustadas a la normativa de seguridad laboral, verá disminuida su vulnerabilidad.

En la FIGURA 4 buscamos conceptualizar los complejos mecanismos del riesgo para la salud del calor extremo urbano, en término de amenazas, exposiciones, vulnerabilidades y efectos en la salud.

Si empiezo por el final, terminaré en el principio: consideraciones finales sobre el riesgo para la salud de las olas de calor

Las temperaturas extremas representan un riesgo significativo para la salud pública, especialmente para ciertos grupos vulnerables. La educación y la sensibilización sobre los riesgos para la salud por las olas de calor son fundamentales para proteger la salud pública, por lo cual resulta indispensable la capacitación y actualización del personal de salud en este tema.

Estas tendencias en todo el país tienen comportamientos particulares en cada región, en relación a las características geográficas, climáticas, demográficas, económicas y culturales. Indagar el impacto en cada región es fundamental para pensar propuestas adecuadas y asertivas. Aunque los organismos públicos y las universidades vienen trabajando en este tema, es necesario seguir profundizando en el conocimiento de los eventos extremos y su impacto, esto requiere la articulación de recursos económicos, humanos e institucionales de diferentes sectores: la academia, la gestión pública y la activa participación de la sociedad civil.

FIGURA 4. Marco conceptual de los efectos del calor extremo



Fuente: elaboración propia

A la hora de reducir los riesgos para la salud por los eventos extremos de temperatura, la difusión de las herramientas y sistemas de alertas temprana que ya están en marcha en el país es fundamental, así como desarrollar planes de respuesta a la emergencia en sintonía con las singularidades de cada ciudad con la participación de la población.

Para lograr acciones exitosas se necesita cambiar la actitud y pasar de la planificación reactiva a un funcionamiento efectivo de los sistemas de observación y alerta. La respuesta típica ante un evento climático severo de intervenir después del desastre, usualmente con fondos insuficientes para restituir las condiciones existentes requiere un cambio, asumir la cultura de la previsión.

En última instancia, la protección de la salud pública durante las olas de calor requiere una respuesta coordinada y efectiva que involucre a los gobiernos de todos los niveles, el personal de salud y la comunidad en general.

BIBLIOGRAFÍA

Barros, V. R.; Boninsegna, J. A.; Camilloni, I. A.; Chidiak, M.; Magrín, G. O.; Rusticucci, M. (2015). Climate change in Argentina: Trends, projections, impacts and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 6(2):151-169.

Camargo, T.; Caro Uribe, P., Castillo, J.J.; Chesini, F.; Cortés, S.; García, S.; Matus, P.; Miller, J.; Rusticucci, M.; Santiago, R.; Sergeeva, M.; Verzeñassi, D. (2024). *Incendios, cambio climático y salud. Un documento de política*. Global Climate and Health Alliance. https://climateandhealthalliance.org/wp-content/uploads/2024/11/Wildfires_ES.pdf

Camilloni, I., Barros, V. (1995). Influencias de la isla urbana de calor en la estimación de las tendencias seculares de la temperatura en Argentina subtropical. *Geofísica Internacional*, 161-170.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Herrera, N., M. M. Skansi, M. A. Berón, C. Campetella, A. Cejas, J. Chasco, F. Chesini, E. de Titto, M. Gatto, M. Saucedo y M. Suaya. (2018). *Sistema de Alerta Temprana por Olas de Calor y Salud (SAT-OCS)*. Nota Técnica 2018-50. Servicio Meteorológico Nacional.

Organización Mundial de la Salud. (2012). *Salud en las Américas*. Publicación Científica y Técnica No. 636.

El rol de las FFAA en la gestión del riesgo

Emanuel Jesús Granero*

A partir de la implementación de la Defensa Civil en nuestro país, hacia fines de la década de 1930, las Fuerzas Armadas Argentinas (FFAA) estuvieron presentes en cada uno de los escenarios de desastres ambientales. Se pueden mencionar, por ejemplo, el terremoto de Cauce (1977), las inundaciones del Litoral y la Mesopotamia, los recurrentes incendios forestales en las Sierras Centrales y, más recientemente, los incendios de Corrientes (2021) o la inundación de Bahía Blanca (2025). En cada uno de estos eventos las FFAA desplegaron sus medios haciendo frente a las más complejas situaciones, siempre con el fin de contribuir al bienestar general de la población.

Si bien la imagen que más se asocia a las FFAA en la gestión de desastres es la de sus miembros desplegados en el terreno colaborando con la población, ya sea en aeronaves transportando víveres, en embarcaciones evacuando a la población o tendiendo puentes para reestablecer el tránsito entre zonas aisladas de una localidad, detrás de todo eso existe una estructura que funciona de forma permanente, diseñando procedimientos de empleos y adiestrando a su personal para operar de manera eficaz.

Relacionado a ello, este artículo aborda de manera sucinta el papel de las FFAA argentinas en la gestión del riesgo de desastres, poniendo énfasis en su empleo como parte de las fuerzas operativas del Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR) y en las estructuras que intervienen en la respuesta ante emergencias y desastres ambientales.

FIGURA 1. Miembros de la FAA realizando la carga de un HERCULES C-130



Fuente: defonline.com.ar

Las Operaciones de Protección Civil (OPC)

Existen situaciones excepcionales en las cuales se contempla el empleo de las FFAA dentro del ámbito interno mediante el desarrollo de operaciones complementarias las cuales tienen por finalidad, entre otras, el restablecimiento de las condiciones de vida preexistentes ante la ocurrencia de un desastre natural o antrópico. Es en este marco donde las fuerzas actúan como elementos operativos del SINAGIR.

Las OPC se desarrollan mediante la ejecución de tres modalidades diferentes: ayuda humanitaria, asistencia humanitaria y apoyo a la comunidad.

La ayuda humanitaria comprende el conjunto de tareas destinadas a brindar apoyo a las comunidades afectadas por desastres ambientales o antrópicos dentro del territorio nacional, con la finalidad de proteger vidas humanas, la infraestructura esencial y el medio ambiente, tendiente a propiciar el restablecimiento de las condiciones de vida en la

comunidad afectada. Cabe destacar que la mayoría de las acciones de respuesta ante desastres se encuadran dentro de esta modalidad, por ejemplo, el apoyo de la Fuerza Aérea Argentina (FAA) mediante el transporte aéreo de víveres e insumos para sostener las tareas durante las inundaciones de Bahía Blanca, en marzo de este año (FIGURA 1).

Las actividades de asistencia humanitaria están orientadas a brindar apoyo a otros países, en función de acuerdos preexistentes. Como ejemplo podemos mencionar el apoyo a Bolivia ante los incendios forestales del 2019 o, más recientemente, el apoyo a Brasil tras las inundaciones en Río Grande do Sul en 2024.

Por último, el apoyo a la comunidad hace referencia al conjunto de actividades destinadas a brindar sostén a las diferentes comunidades, sin la necesidad de ocurrencia de una emergencia. Su finalidad es favorecer el desarrollo social y económico de una zona, contribuyendo a mejorar la calidad de vida y bienestar de la población.

* Oficial de Estado Mayor y de Estado Mayor Conjunto. Licenciado en Administración. Especialista en Conducción Superior de Organizaciones Militares Terrestres, en Estrategia Operacional y Planeamiento Militar Conjunto y en Gestión de la Defensa Civil y Apoyo a la Población (Universidad de la Defensa Nacional). Jefe de la Compañía de Ingenieros de Construcciones de Montaña 5 del Ejército Argentino. emanuelgranero4@gmail.com

FIGURA 2. Brigadistas forestales de la Armada durante los incendios en El Bolsón (febrero de 2025)



Fuente: gacetamarinera.com.ar

Es de resaltar que, tanto las actividades de asistencia humanitaria como las de apoyo a la comunidad, constituyen un esfuerzo secundario en las acciones de respuesta por parte de las FFAA. En cambio, las actividades de ayuda humanitaria constituyen el esfuerzo principal, a la vez que, pasada la emergencia, pueden ser complementadas por acciones de apoyo a la comunidad.

Concepto del apoyo en el marco de las OPC

En caso de una emergencia, las FFAA actuarán en forma subsidiaria, teniendo como base el planeamiento elaborado en cada uno de los niveles de intervención. En este marco, las unidades militares asentadas en las distintas jurisdicciones del país, proporcionarán el apoyo inicial siguiendo las provisiones del planeamiento específico de cada Fuerza, actuando de forma preteritoria en los niveles municipales y provinciales.

Si la situación se agrava y la emergencia no puede ser gestionada con los medios disponibles en el nivel provincial, el Consejo Federal del SINAGIR podrá declarar la emergencia, acto tras lo cual, el Ministerio de Defensa a través de la Subsecre-

taría de Defensa Civil y Protección Humanitaria ordenará que el Comando de Operaciones Conjuntas asuma el control operacional, la dirección y la coordinación de las operaciones de los elementos de las FFAA. Este último, lo hace a través del recientemente creado Comando Conjunto de Protección Civil.

Una vez declarada la emergencia federal, se activará un Comando Conjunto de Zona de Emergencia (CCZE), ya conformados previamente. Estos Comandos Conjuntos tendrán la responsabilidad de conducir las operaciones conjuntas con los medios de las tres fuerzas que se encuentran en sus jurisdicciones, actuando en apoyo a la autoridad civil responsable de la emergencia en la zona afectada, así como también cooperando en la recepción de la asistencia internacional. De ser necesario otro medio específico, como ser aeronaves Hércules C-130, deberá ser requerido al nivel superior.

La respuesta en el terreno

El apoyo en el terreno se da mediante el empleo de unidades de las tres Fuerzas Armadas, principalmente del Ejército y de la Armada y con aquellos medios de alcance estratégico de la Fuerza Aérea.

Por la especificidad técnica y variedad de los medios materiales y el adiestramiento de sus miembros, las unidades militares están en capacidad de cumplir con un importante número de tareas, ya sea de manera específica como en conjunto con otras organizaciones gubernamentales, tales como:

- Búsqueda y rescate de personas en estructuras colapsadas y en zonas lacustres, ribereñas, de montaña y selva, en coordinación con especialistas en la materia.
- Lucha contra el fuego, mediante el empleo de brigadistas forestales en coordinación con el Servicio Nacional de Manejo del Fuego (FIGURA 2).
- Tratamiento y operación en eventos con materiales peligrosos.
- Asistencia ante emergencias hídricas y sequías, con medios de Ingenieros del Ejército y de la Infantería de Marina.
- Asistencia sanitaria, en coordinación con las autoridades del área de salud.
- Apoyo a la transitabilidad, mediante el empleo de máquinas viales y de material de puente de dotación en el arma de Ingenieros del Ejército.

FIGURA 3. Ingenieros del Ejército tendiendo un puente Bailey durante una emergencia hídrica (provincia de Catamarca, diciembre de 2023)



Fuente: foto tomada por el autor

- Evacuación de la población y transporte logístico de víveres y equipos, mediante los modos aéreo, terrestre, fluvial y marítimo.

Si bien todos los elementos militares tienen una mayor o menor capacidad para el apoyo de protección civil, los principales elementos con capacidad de respuesta lo constituyen las Unidades Militares de Respuesta en la Emergencia (UMRE).

Estas unidades de respuesta están basadas en los elementos de Ingenieros del Ejército (FIGURA 3) y en elementos de la Infantería de Marina, quienes se encuentran provistos de medios de gran rendimiento y tecnicismo. Actualmente, las FFAA cuentan con trece UMRE principales y cuatro complementarias, distribuidas a lo largo y ancho del territorio nacional, organizadas, equipadas y adiestradas para operar según los riesgos de desastres específicos y de acuerdo al ambiente geográfico de cada CCZE.

Cada una de estas UMRE desempeña un papel importante en la jurisdicción sobre la cual tiene responsabilidad, no solo mediante su capacidad de despliegue sino también en el trabajo cotidiano con las autoridades locales para reducir el riesgo de desastres. En los últimos tiempos, el empleo de elementos de las FFAA se vio potenciado por las capaci-

dades aportadas por las UMRE, siendo cada vez más notoria su incidencia en la articulación de los medios de respuesta y en el asesoramiento y asistencia a las autoridades civiles para la coordinación y empleo de los medios locales.

El trabajo interagencial

La gestión integral del riesgo de desastres supone un esfuerzo holístico, con la intervención de todos los actores necesarios en todos los niveles de gobierno, por lo cual la intervención de las fuerzas operativas del sistema se dará, normalmente, en un marco interagencial.

Si bien el empleo de los medios militares se da principalmente en la respuesta a la emergencia, es notable también su participación en las etapas de preparación y mitigación. El hecho de contar desde la paz con estructuras conformadas ad-hoc para entender en la gestión del riesgo de las diferentes jurisdicciones territoriales del país, permite alcanzar un conocimiento profundo de la problemática de las poblaciones más vulnerables, de las capacidades de los medios de respuesta locales, a la vez que acerca a las FFAA a las diferentes comunidades, agilizando los tiempos de respuesta y asegurando un estrecho lazo de cooperación cívico-militar.

Para lograr un conocimiento acabado de la problemática de cada comunidad, es fundamental el trabajo cotidiano que llevan adelante las UMRE y las estructuras de protección civil de los CCZE. En este sentido, las reuniones periódicas con las autoridades civiles, la coordinación y trabajo con las dependencias de Protección Civil locales y el conocimiento profundo de la zona de responsabilidad, hacen que la cooperación que se establece desde la paz genera lazos de confianza y entendimiento mutuo, viéndose reflejado en la eficiencia de empleo de los elementos militares en OPC.

El trabajo mancomunado de los miembros de las FFAA con las autoridades civiles para desarrollar planes acordes a la problemática local y congruentes con los medios de respuestas disponibles, es primordial para aumentar la eficiencia de empleo en la etapa de respuesta. Asimismo, la posibilidad de capacitación en conjunto y la ejecución de simulaciones/simulacros entre las diferentes agencias, contribuye directamente a generar conocimiento mutuo, lenguaje común y procedimientos de empleo coordinados en el ámbito interagencial (FIGURA 4).

FIGURA 4. Simulacro Interagencial “SAR” (La Rioja, abril de 2025)



Fuente: Instituto Regional de Planificación Control y Servicios Ambientales (IRePCySA).

Consideraciones finales

A lo largo del artículo se trató el rol de las FFAA ante desastres ambientales como parte de las fuerzas operativas del SINAGIR. Teniendo en cuenta lo desarrollado, se puede considerar que las Fuerzas Armadas son el eje central de los despliegues de medios nacionales frente a situaciones de desastres naturales o antrópicos, tanto por despliegue territorial, como por experiencia, disponibilidad de medios y de efectivos, el compromiso solidario de sus miembros y sus competencias para intervenir en la gestión integral del riesgo de desastres.

Asimismo, podemos ver que la intervención de las fuerzas operativas del sistema se desarrolla, normalmente, en un marco interagencial. El accionar interagencial implica una necesaria unidad de comando en la conducción de las agencias, interoperabilidad de los medios empleados, flexibilidad para hacer frente a situaciones no previstas, lenguaje común entre los organismos intervinientes, capacitación conjunta, estandarización de procedimientos, certificación por parte de entidades competentes y gran espíritu de cooperación.

Esto se logra, en parte, con voluntad de llevarlo adelante y, principalmente, con estructuras operativas funcionando a

tiempo completo. En este aspecto, los equipos de trabajo de los CCZE y el trabajo de las UMRE permiten tener un conocimiento acabado de las vulnerabilidades ambientales de sus jurisdicciones y de las capacidades de los medios de respuesta en los diferentes niveles, lo que posibilita optimizar la respuesta y asegurar un estrecho lazo de cooperación cívico-militar.

Sin embargo, si bien es cada vez más notorio el despliegue de medios militares en situaciones de desastres, es menester aclarar que de ninguna manera las OPC pueden reemplazar la misión principal de las FFAA argentinas, misión para la cual se organizan, equipan, alistan y adiestran de manera prioritaria. Su misión principal es la de conjurar y repeler toda agresión externa militar estatal, a fin de garantizar y salvaguardar de modo permanente los intereses vitales de la Nación: su soberanía, independencia y autodeterminación, su integridad territorial y la vida y libertad de sus habitantes, tal cual lo establecen la Ley de Defensa Nacional (Art. 2) y el Decreto 1691, del 2006.

Como corolario, podemos afirmar que las FFAA continúan siendo una de las herramientas a disposición del Estado

Nacional más confiables para contribuir en la gestión del riesgo, como lo han demostrado a lo largo de décadas.

BIBLIOGRAFÍA

Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas. (2019). Reglamento de protección civil (PC-13-02).

Granero, E. (2023). Las FFAA. y la gestión del riesgo en Argentina. *Revista de la Academia de Guerra del Ejército Ecuatoriano*, 16(1), 17. <https://doi.org/10.24133/age.vol16.n01.2023.15>

Poder Ejecutivo Nacional. (1988). Ley Nro 23.554 (Ley de Defensa Nacional). <http://www.infoleg.gob.ar/>.

Poder Ejecutivo Nacional. (2006). Decreto 1691/06. Directiva sobre Organización y Funcionamiento de las Fuerzas Armadas. <http://www.infoleg.gob.ar/>.

Poder Ejecutivo Nacional. (2016). Ley 27.287. Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil (SINAGIR). <http://www.infoleg.gob.ar/>.

Modelos digitales de elevación a partir de datos SAR de las misiones satelitales SAOCOM-1 y Sentinel-1

Federico Ibarra*

Introducción

Los modelos digitales de elevación (MDE) constituyen representaciones espaciales de la elevación del terreno y son producidos a partir del grillado de datos georeferenciados provenientes de mediciones de campo, relevamientos aéreos y/o misiones satelitales. Estos modelos son utilizados en una gran variedad de actividades y aplicaciones como la construcción de grandes obras de infraestructura, el modelado hidrológico, estudios geológicos y el análisis de peligrosidad y riesgo, por lo que es crucial contar con productos exactos y precisos, de resolución adecuada y amplia cobertura del territorio nacional.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) es el responsable a nivel nacional de la producción y actualización de información geoespacial y productos cartográficos, así como de la infraestructura geodésica y el establecimiento, mantenimiento, actualización y perfeccionamiento del Marco de Referencia Geodésico Nacional. Cumpliendo con su misión, el IGN ha desarrollado un MDE para el territorio nacional, MDE-Ar, a partir de los modelos globales SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) y ALOS (*Advanced Land Observation Satellite*), y una serie de etapas de post-proceso para mejorar la exactitud en el territorio argentino. MDE-Ar ofrece cobertura nacional con un error absoluto promedio de -2.11 m y una resolución horizontal de 30 m. Adicionalmente, el IGN ofrece MDE fotogramétricos con una mejor resolución (5 m y 0.5 m) y exactitud (sub-métrica a centimétrica). Sin embargo, dado que el territorio del país es extenso y estos últimos MDE cubren sólo una porción del mismo, es necesario

realizar esfuerzos para ofrecer modelos superadores para aplicaciones en las que la resolución de MDE-Ar no es suficiente. Existen diversos métodos para la producción de MDE que dependen de la fuente de datos a utilizar y del producto final que se espera obtener. En particular, los métodos de producción que emplean datos de radar de apertura sintética (SAR, por sus siglas en inglés) revisten especial interés por una serie de ventajas comparativas a la hora de obtener modelos de resolución media y amplia cobertura areal. A su vez, la disponibilidad de datos SAR de acceso libre y gratuito representa una oportunidad económica y eficiente para la producción de MDE.

Los datos SAR consisten en una señal compleja compuesta por amplitud y fase. Las técnicas interferométricas para la producción de MDE se basan fundamentalmente en la diferencia de fase entre dos escenas SAR para resolver un problema geométrico y recuperar información de la estructura tridimensional de la superficie relevada. Las misiones satelitales SAR específicas para este tipo de aplicación trabajan normalmente en modo bi-estático, adquiriendo la información de ambas escenas de manera sincrónica. Sin embargo, las misiones que adquieren solamente una escena SAR cada vez que el satélite pasa por la zona de interés (como Sentinel-1 y SAOCOM-1) también pueden ser utilizadas para la producción de MDE. A pesar que su uso introduce errores relacionados con el tiempo transcurrido entre ambas adquisiciones (producidos por cambios en las condiciones atmosféricas, movimientos de la superficie terrestre, modificaciones de la cobertura super-

ficial, entre otros), su principal ventaja reside en la amplia y reciente disponibilidad de datos abiertos al público general. Para países con territorios extensos y recursos limitados como Argentina, el acceso a estos datos y la posibilidad de extraer productos de calidad a partir de los mismos es sumamente relevante, dado que los MDE de alta resolución producidos a partir de misiones SAR bi-estáticas (así como los datos primarios) son usualmente restringidos y de precio elevado.

Idealmente, el tiempo transcurrido entre adquisiciones (base temporal) para la producción de dichos MDE debe ser lo más corto posible para evitar cambios en las condiciones ambientales o, en su defecto, ambas escenas deben corresponder a una misma estación del año. Aún así, los múltiples factores que pueden influenciar la calidad de los MDE obtenidos imposibilitan la estandarización de parámetros óptimos a la hora de seleccionar el par de escenas a utilizar. Como consecuencia, a pesar de que las técnicas interferométricas permiten obtener MDE con una resolución horizontal superadora de los modelos de escala regional/global, los mismos no son confiables en cuanto a su calidad. En este sentido, diversos estudios se han enfocado en este problema, explorando el impacto de distintas variables y la aplicación de técnicas de fusión de datos. Con el objetivo final de desarrollar una metodología sencilla y normalizada que reduzca la incerteza en la calidad de los MDE, en el IGN se realizó un trabajo exhaustivo en un área piloto en Córdoba para llevar adelante un análisis estadístico de distintos MDE obtenidos mediante interferometría y evaluar en forma sistemática distintos procesos de fusión simple de datos (Ibarra et al., 2024).

* Doctor en Ciencias Geológicas. Investigador, Dirección de Planificación, Investigación y Desarrollo, Instituto Geográfico Nacional. fibarra@ign.gov.ar

Metodología

Explicado en términos sencillos, la diferencia de fase (o fase interferométrica) entre dos escenas SAR se compone de términos geométricos y variaciones del trayecto recorrido por la señal. Entre las componentes geométricas se incluyen las posiciones orbitales de los satélites cuando las escenas son adquiridas y la topografía del terreno, mientras que las variaciones del recorrido responden a cambios en el medio de propagación (componente atmosférica) y movimientos del terreno. Asumiendo que el terreno y la atmósfera permanecen estables en el tiempo y conociendo las órbitas de los satélites, es posible calcular la componente topográfica para obtener información sobre la elevación de la superficie. Para realizar el proceso interferométrico se utilizó el software SNAP. Entre las distintas etapas del mismo para la producción de MDE se incluyen el co-registro de las escenas, multilooking, obtención de la fase interferométrica, filtrado (filtro de Goldstein), desenrollado de la fase (utilizando el software SNAPHU; Chen y Zebker, 2001), conversión de fase a elevación y corrección topográfica (incluye geolocalización). Durante el proceso también se calculó la coherencia entre las escenas de cada par. La misma se define como el coeficiente de correlación entre dos señales complejas y se constituye como una medida de la precisión en la determinación de la fase interferométrica.

Se utilizaron datos de los satélites SAOCOM-1 y Sentinel-1. SAOCOM-1 es una constelación argentina que consta de dos satélites con instrumentos SAR que operan en la banda de frecuencia L (longitud de onda de 23.5 cm). Por otro lado, la constelación europea Sentinel-1 tam-

bién consta de dos satélites aunque uno de ellos se encuentra fuera de servicio desde finales del 2021. Los instrumentos SAR de esta constelación operan en banda de frecuencia C (longitud de onda de 5.5 cm). Se usaron 69 escenas Sentinel-1 y 18 escenas SAOCOM-1. Todos los pares interferométricos SAOCOM-1 formados tienen bases temporales que no superan los 32 días; en el caso de los pares Sentinel-1 las mismas no superan los 24 días. Respecto a la variación en la posición de los satélites al adquirir las escenas, los pares interferométricos de Sentinel-1 presentan bases perpendiculares entre 20 m y 160 m, mientras que los pares de SAOCOM-1 presentan bases perpendiculares entre 150 m y 2000 m.

Resultados y discusiones

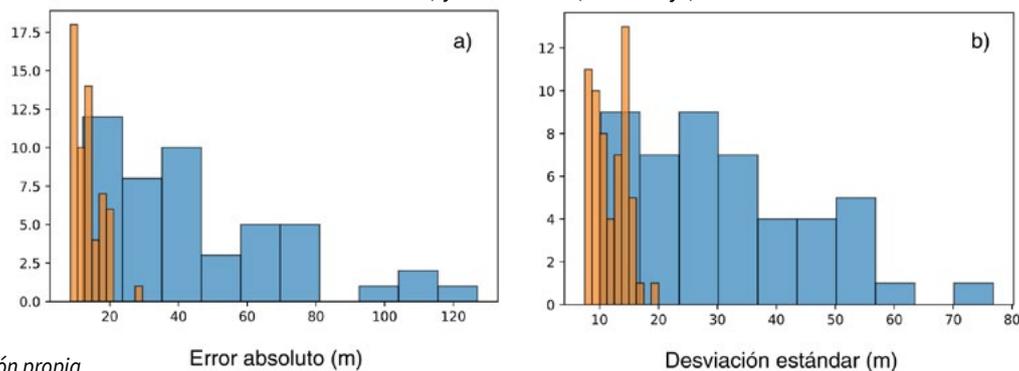
El gran número de MDE obtenidos a partir de datos Sentinel-1 permitió realizar un análisis de distintos métodos de fusión y su impacto en la calidad del resultado final. Los MDE producidos (tanto mediante interferometría como por fusión de estos últimos) fueron comparados con un MDE fotogramétrico de referencia para la zona piloto, determinando el error medio absoluto y la desviación estándar de cada uno con respecto a la referencia. En la FIGURA 1 se muestran histogramas del error medio y desviación estándar para ambos grupos de MDE (interferométricos y fusionados). Los MDE interferométricos muestran un error absoluto (EA) y una desviación estándar (DE) promedio de 45.92 m y 31.64 m, respectivamente; mientras que los MDE fusionados presentan un EA y una DE promedio de 13.71 m y 11.78 m, respectivamente. Adicionalmente, se encontró que el MDE fusionado a partir de modelos interferométricos co-

rrespondientes a la época invernal presentó las mejores métricas, con un EA de 8.52 m y una DE de 7.51 m. En contraste, el MDE fusionado a partir de modelos interferométricos del resto del año mostró uno de los peores resultados (EA y DE de 18.97 m y 14.93 m, respectivamente).

Estos resultados muestran que los procesos de fusión permiten mejorar significativamente la calidad de los MDE generados, obteniendo en promedio resultados tres veces más precisos y exactos. Particularmente, la utilización de datos de la temporada invernal resulta en un diferencial positivo con respecto al resto de los MDE, probablemente debido a un menor contenido de vapor en la atmósfera y una menor cobertura vegetativa, que resultan en menores interferencias sobre la fase y una mayor coherencia entre escenas.

Habiendo determinado el método de fusión más eficiente y con mejores resultados se procedió a aplicarlo sobre los MDE obtenidos a partir de datos SAOCOM-1. Adicionalmente, se realizó una fusión mediante suma ponderada, tanto para Sentinel-1 como para SAOCOM-1, utilizando las coherencias calculadas para asignar pesos, de manera que los píxeles cuya coherencia sea mayor tengan más peso en la determinación de la elevación final del píxel fusionado. Finalmente, se realizó la fusión de estos dos últimos MDE (SAOCOM-1 y Sentinel-1 ponderados) aplicando otra suma ponderada, en la cual el EA de cada píxel fue utilizado para asignar pesos. Todos estos MDE se produjeron para el área de cobertura común de manera que las diferencias no estén influenciadas por diferencias de la superficie analizada. En total se obtuvieron entonces cinco MDE, cuyas métricas

FIGURA 1. Histogramas de a) error absoluto y b) desviación estándar para los MDE interferométricos (en azul claro) y fusionados (en naranja)



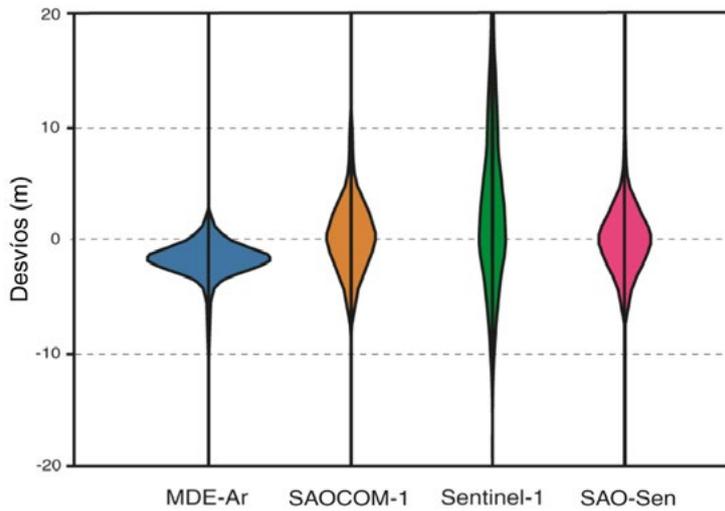
Fuente: elaboración propia.

TABLA 1. Métricas de los MDE fusionados

MDE	Error medio (m)	Desviación estándar (m)
Sentinel-1	2.25	7.61
SAOCOM-1	0.39	3.77
Sentinel-1 Suma ponderada	1.73	5.82
SAOCOM-1 Suma ponderada	0.35	3.02
Fusión ponderada SAOCOM-Sentinel	0.21	2.55

Fuente: elaboración propia.

FIGURA 2. Distribución de errores para algunos de los MDE fusionados en relación a la distribución de errores de MDE-Ar en la zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

se presentan en la TABLA 1. En la FIGURA 2 puede observarse una comparación de la distribución de errores para algunos de estos modelos en relación a MDE-Ar en la región.

A pesar de que los MDE obtenidos tienen una mejor resolución espacial que MDE-Ar (15 m vs. 30 m), los resultados muestran que sólo en algunos casos se logra una mayor exactitud (representada por

el error medio), y en ninguno se logra mejorar la precisión (representada por la desviación estándar). Los MDE de SAOCOM-1 muestran mejores resultados que Sentinel-1 principalmente por dos motivos, la mayor penetración de la banda L por sobre la banda C y el rango más amplio de bases perpendiculares. A pesar de que los errores medios y desviaciones estándar se reducen a partir de la implementación

de sumas ponderadas, dichas mejoras no son significativas (particularmente para SAOCOM-1), ni suficientes para alcanzar la precisión de MDE-Ar. La suma ponderada no produce grandes cambios para SAOCOM-1 debido a que las coherencias obtenidas para los distintos pares interferométricos son consistentes entre sí, y generalmente altas. En cambio, en el caso de Sentinel-1 se observa una reducción mayor (particularmente en la desviación estándar) atribuible al menor peso de aquellos píxeles con baja coherencia. La combinación de los MDE de Sentinel-1 y SAOCOM-1 resulta en mejoras relativas significativas, con una reducción del error cercana al 50% y una reducción de la desviación estándar alrededor del 30%. Esta mejora se debe a que se aprovechan las ventajas de cada una de las misiones de acuerdo con las características de la zona analizada (pendiente por ejemplo) y de la geometría de adquisición (ángulo de incidencia por ejemplo).

Conclusiones

La principal conclusión del trabajo realizado es que la utilización de procesos de fusión para la producción de MDE de origen interferométrico reduce significativamente la incertidumbre en la calidad del resultado final. Particularmente, el uso de datos SAR adquiridos durante la temporada de invierno asegura resultados más confiables. Los MDE fusionados a partir de datos SAOCOM-1 presentan una mayor exactitud y precisión que los de Sentinel-1. Sin embargo, la fusión de ambos y la utilización de sumas ponderadas ayudan a mejorar la calidad del resultado final, superando la exactitud de MDE-Ar y logrando una precisión ligeramente inferior. Actualmente se están llevando a cabo pruebas en otras regiones para evaluar el desempeño de los métodos desarrollados en zonas con mejor disponibilidad de datos y distinta topografía y cobertura del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Chen, C.W. y Zebker, H.A. (2001). Two-dimensional phase unwrapping with use of statistical models for cost functions in nonlinear optimization. *Optical Society of America*, 18(2), 338-351. <https://doi.org/10.1364/josaa.18.000338>

Ibarra, F., Cuello, A., Gotuso, A., Guerrieri, M., Ludueña, S., Marquez, J. L., Micou, A. P., Migliorini, R., Ortone, A., Perez, M., Posadas, A., Seco, J. L., Soldano, A., Sotelo, A., Tamayo, C. y Chiarito, E. (2024). Exploring C and L band InSAR Digital Elevation Model stacking: a case study in Córdoba, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.105006>

DATOS DESDE EL ESPACIO, INFORMACIÓN DESDE LA NUBE

Teledetección satelital y procesamiento remoto para la generación de información geoespacial

Carolina S. Ramos*, José L. Seco**, A. Paula Micou***

Introducción

La producción y el uso de la información espacialmente referenciada se han diversificado considerablemente en las últimas décadas, impulsados por avances tecnológicos y la creciente disponibilidad de datos abiertos (Coetzee *et al.*, 2020). El dato geográfico ya no se limita a la producción de cartografía, y sus fuentes se han ampliado más allá del levantamiento in situ. Destaca la teledetección satelital, en particular los programas Landsat (USGS) y Sentinel (ESA) que ofrecen gratuitamente millones de imágenes. En este contexto de gran disponibilidad de datos, se vuelve esencial la capacidad de transformar los datos en información. Desde el área de Investigación y Desarrollo (I+D) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) trabajamos en metodologías para generar información geoespacial a partir de estos insumos.

La teledetección permite cubrir áreas extensas y de difícil acceso de forma continua (Pettorelli *et al.*, 2018), lo que facilita el estudio de fenómenos territoriales variables. Los análisis multitemporales mejoran la precisión y permiten un monitoreo sostenido, aunque requieren procesar grandes volúmenes de datos.

* Doctora en Ciencias Biológicas. Investigadora, Área de Investigación y Desarrollo, Dirección de Planificación Investigación y Desarrollo, Instituto Geográfico Nacional. Docente, Departamento de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. cramos@ege.fcen.uba.ar

** Magíster en Aplicaciones de Información Espacial. Área de Investigación y Desarrollo, Dirección de Planificación Investigación y Desarrollo, Instituto Geográfico Nacional. jseco@ign.gob.ar

*** Doctora en Geografía. Responsable del Área de Investigación y Desarrollo. Dirección de Planificación Investigación y Desarrollo, Instituto Geográfico Nacional. pmicou@ign.gob.ar

Google Earth Engine (GEE) resuelve esta limitación, al brindar acceso a imágenes ópticas, de radar e información de reanálisis, junto con herramientas para procesarlas y visualizar resultados mediante aplicaciones web (Gorelick *et al.*, 2017). De esta manera combinar la teledetección con el procesamiento remoto aparece como una de las herramientas clave para cumplir los objetivos del área de I+D. En este artículo presentamos dos proyectos desarrollados con esta plataforma: uno sobre detección de agua superficial y otro sobre clasificación de humedales.

Dada la importancia estratégica de los recursos hídricos, resulta clave conocer la ubicación y disponibilidad del agua superficial. A su vez dada la necesidad de mantener actualizada esta información el área de I+D del IGN trabajó en su detección mediante imágenes satelitales y procesamiento en la nube (Seco *et al.*, 2023). En una segunda etapa nos propusimos desarrollar aplicaciones web que ayuden a visualizar la dinámica del agua superficial de la Argentina.

Por otro lado, la necesidad de contar con información geográfica actualizada sobre humedales se ha ido consolidando en el país, impulsando iniciativas como el inventario nacional, la regionalización de humedales y experiencias piloto de cartografía (Benzaquén *et al.*, 2017; Fabricante *et al.*, 2022). Estos ecosistemas, donde interactúan lo terrestre y lo acuático, presentan desafíos para su reconocimiento y delimitación (Fabricante *et al.*, 2022). Los humedales son ecosistemas esenciales para la vida, ya que brindan servicios como la purificación del agua, la regulación de sequías e inundaciones y el almacenamiento de carbono. También poseen valor cultural y albergan una gran biodiversidad. A pesar de su importancia, han sido históricamente desvalorizados

y transformados por la agricultura y la urbanización, lo que ha generado una fuerte degradación, agravada por el cambio climático. Se destaca así la necesidad de generar información geoespacial estandarizada para su identificación y monitoreo, según los criterios del catálogo de datos institucional, permitiendo así mantener actualizada la base de datos geográfica del Instituto.

Metodología Detección de agua superficial

Se desarrollaron dos aplicaciones para detectar agua superficial. Una permite establecer un periodo temporal y seleccionar un área de interés sobre la cual se estiman las zonas cubiertas por agua. La otra permite realizar una comparación visual entre fechas seleccionadas y el estado actual del curso de agua. Para la estimación de coberturas se utilizaron imágenes multiespectrales de Sentinel 2A, corregidas radiométricamente a reflectancia de superficie ("COPERNICUS/S2_SR"). Sobre estas imágenes se calculó el índice Automated Water Extraction Index (AWEI), diseñado para mejorar la clasificación en áreas con sombras y superficies oscuras (Feyisa *et al.*, 2014).

La clasificación en agua/no agua se realizó mediante la técnica de umbralización. Esta consiste en aplicar uno o más valores umbral sobre datos espectrales. En este caso de estudio, para la determinación del valor del umbral se tomaron 480 muestras espectrales de píxeles que representan el agua superficial. La extensión de la muestra fue para todo el territorio argentino y se determinó el umbral a partir de la media. Se consideró como agua a todos los píxeles con valores espectrales superiores a esta media muestral.

Identificación de humedales

Para el caso de la detección de humedales se comenzó, como prueba piloto, a trabajar en la región de humedales altoandinos y de la puna. Se utilizó una aproximación basada en clasificación supervisada por píxeles, con un clasificador de árboles aleatorios (*Random Forest*). En esta primera etapa, se definieron para el área de estudio 6 coberturas/usuarios de interés: humedal tipo vega, agua, cultivos, vegetación espontánea, suelo desnudo, hielo-nieve permanente. Se tomaron 30 puntos de verdad de campo para cada cobertura a partir de interpretación visual sobre imágenes satelitales de alta resolución espacial; un 80% se usó para entrenar el modelo y un 20% para validarlo. Se utilizaron también, imágenes multiespectrales Sentinel 2A, corregidas radiométricamente a reflectancia de superficie (“COPERNICUS/S2_SR”). A partir de estas se seleccionaron imágenes sin nubes para el periodo 2022-2023 (bandas 2, 3, 4, 8, 11 y 12) y se obtuvo la mediana y el desvío. Se realizaron subselecciones para el invierno de 2022 y el verano de 2022-2023 y a partir de estos se calculó la mediana del invierno y del ve-

rano, y la amplitud anual como la resta de las medianas del verano y el invierno. A su vez se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, del inglés *Normalized difference vegetation index*) para la mediana anual y las dos medianas estacionales. También se aplicó la técnica de desmezclado espectral a partir de datos tabulados sobre la mediana anual para extraer las fracciones de vegetación sana, vegetación no fotosintética y suelo, obteniéndose así 3 variables más. Además, se obtuvieron datos históricos de precipitación y temperatura (Fick & Hijmans, 2017) y se derivaron variables topográficas, pendiente y elevación, a partir de un modelo digital de elevaciones (Jarvis *et al.*, 2008). Se conformó entonces un apilado o stack conteniendo todas las variables en formato raster y se remuestrearon todas las capas a una resolución de 20x20 m.

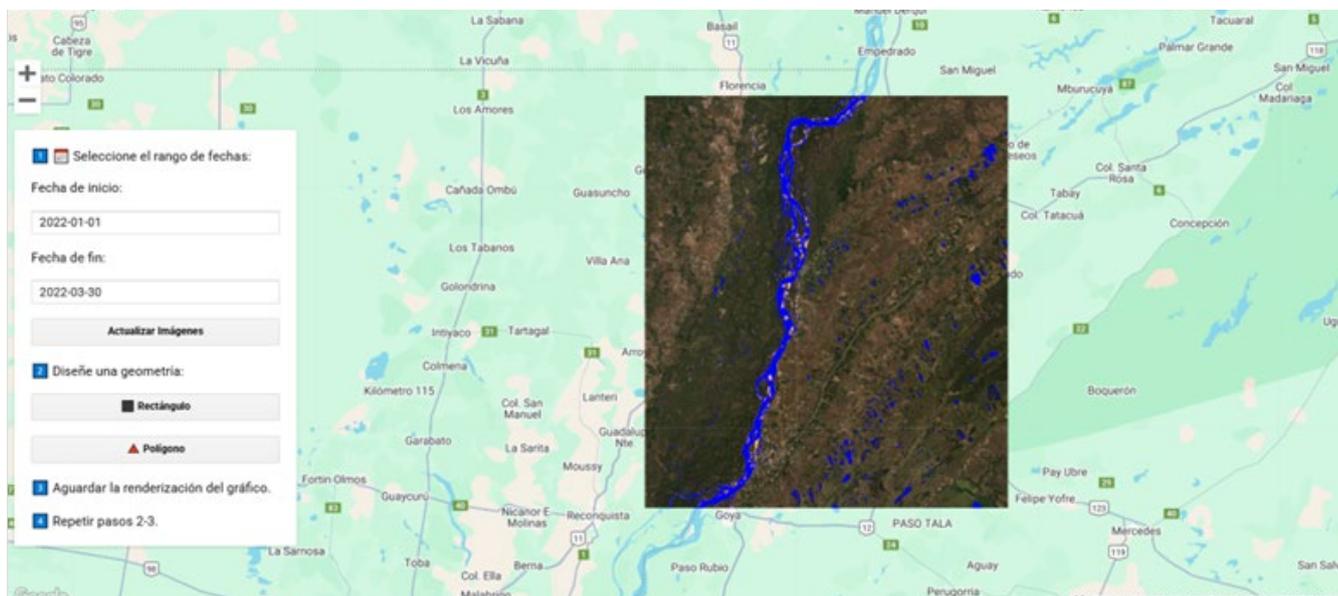
Resultados y discusión Detección de agua superficial

Para la clasificación de agua superficial por la metodología de umbralización se estimó un valor umbral de -0.4 (-0.4+0.5).

El análisis visual mostró una buena precisión. Se destaca en particular que son detectados los cuerpos níveos presentes en la cordillera, esto es debido a que el índice realiza la respuesta de las bandas SWIR1, SWIR2 y GREEN, las cuales se utilizan típicamente también para detectar nieve, ya que esta última es altamente reflectiva en dichas bandas.

La aplicación de visualización de pantalla doble permite comparar una máscara de agua calculada para una fecha determinada por el usuario y la imagen sin enmascarar. Esto permite comparar visualmente dos capas o imágenes, en este caso una máscara y una imagen, de manera simultánea. Ayuda a visualizar cambios en la región en fechas diferentes, una de ellas configurada por el usuario y la otra actual (FIGURA 1)¹. La aplicación que realiza una máscara de agua en función de la fecha y el área seleccionadas permite realizar un seguimiento de la variabilidad estacional y la identificación de cambios en la disponibilidad de agua. Además, permite identificar zonas inundadas y realizar un monitoreo de las mismas a través del tiempo (FIGURA 2)².

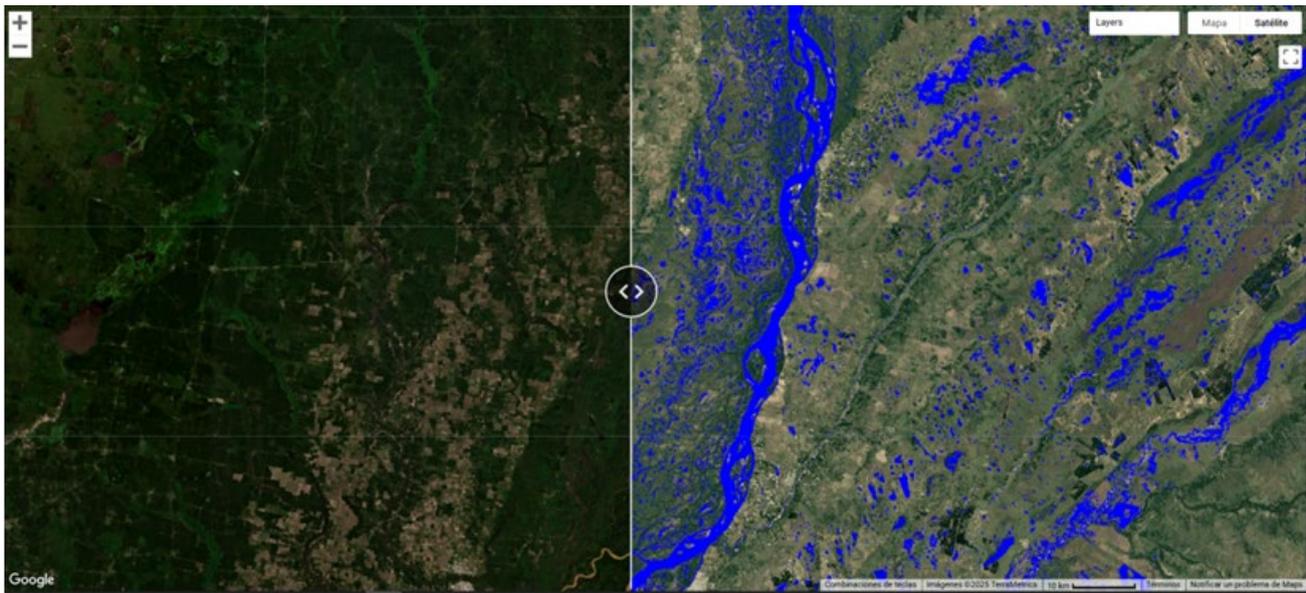
FIGURA 1. Aplicación web en donde se establece el rango de fechas y el área de interés. Como resultado se obtiene una máscara de agua superficial para el periodo seleccionado.



Fuente: elaboración propia.

¹ <https://ee-investigacionign-projects-earthengine-app/view/deteccion-agua-por-zonas--ign---id>

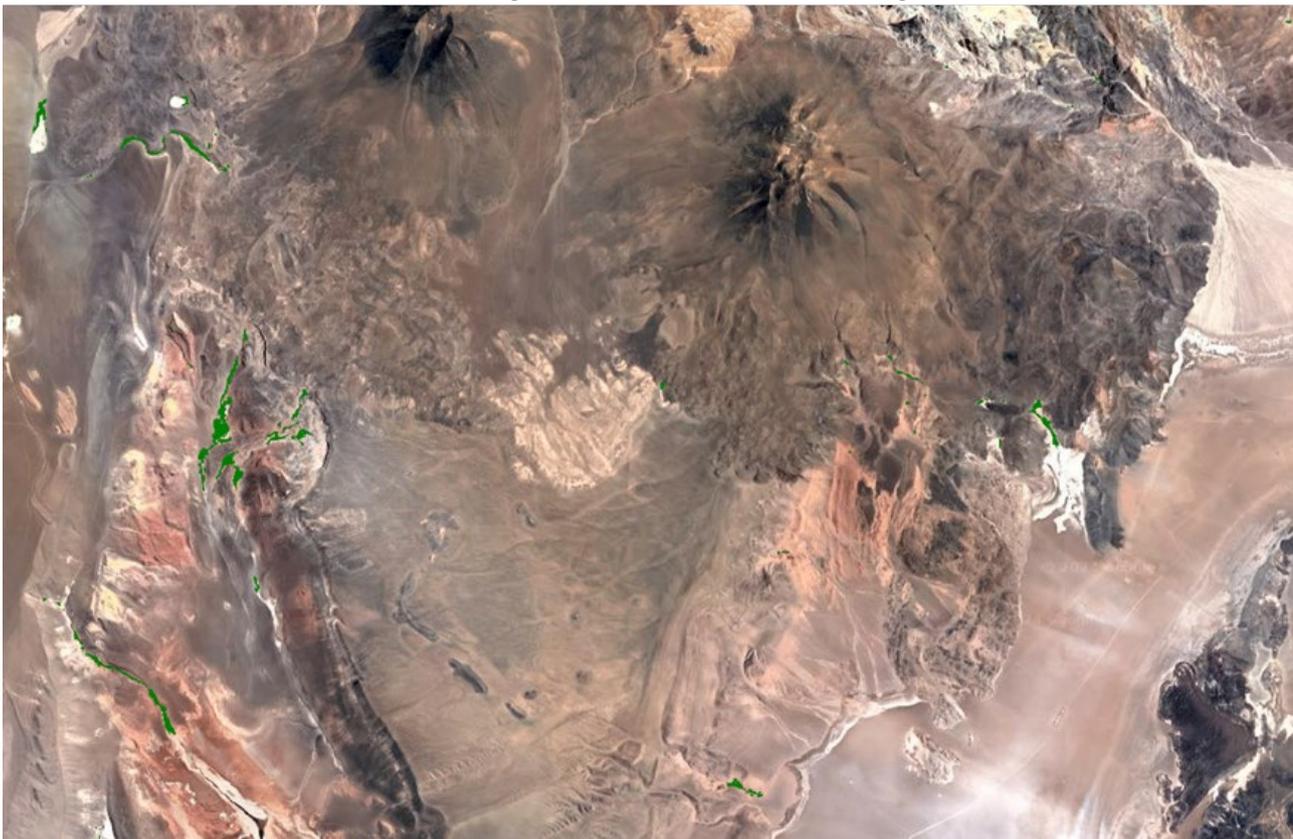
FIGURA 2. Visualizador de pantalla doble



A la izquierda se puede observar un mosaico de imágenes de Sentinel 2 del año seleccionado; a la derecha se observa la máscara de agua generada a partir de las imágenes multispectrales seleccionadas de la izquierda. Fuente: elaboración propia.

² <https://ee-investigacionign-projects-earthengine-app/view/comparacion-mascara-de-agua-e-imagen-satelital-arg-ign---id>

FIGURA 3. Imagen ilustrativa sobre la detección de vegas



En verde: zona del Salar de Antofalla en Catamarca, Argentina.
Fuente: elaboración propia.

Identificación de humedales

Se obtuvo una capa de coberturas/ usos que resultó tener una precisión de 0.69 y un índice kappa de 0.61, el análisis visual mostró una detección de los humedales de tipo vega (FIGURA 3) relativamente buena. Sin embargo, se destaca un error de comisión bastante alto para esta clase, dado que se incluyen grandes áreas de cultivos como humedal. A su vez en el análisis visual se destaca la confusión del clasificador de las áreas de sombra a las que clasifica como clase de cobertura de agua.

Conclusiones

En el caso de la aplicación para la detección de agua superficial, las ventajas de la utilización de GEE son clave ya que permiten generar las aplicaciones presentadas. Así los datos generados sirven como insumo para actualizar la red hídrica, pero no son suficientes y se requerirían de operadores entrenados para digitalizar los cauces o cuerpos de agua con

errores e imprecisiones aceptables. De todas formas, una ventaja importante es que permiten la consulta casi instantánea sobre zonas inundadas o procesos de sequía, sobre todo en áreas rurales dada la resolución espacial de las imágenes.

En el caso de la detección de humedales se lograron resultados prometedores para esta primera etapa. Sin embargo, dadas las diferencias encontradas entre la precisión numérica y visual se entiende que para mejorar los resultados de la clasificación se deberá aumentar la cantidad de muestras de verdad de campo tomadas para cada una de las clases, además de una revisión sobre las clases de cobertura/uso.

La utilización de tecnologías basadas en teledetección y procesamiento en la nube resultó en una ampliación de la capacidad de cómputo y la posibilidad de proveer una aplicación fácil de implementar y utilizar, que permite consultar información a demanda en el caso de la

detección de agua superficial. En esta era de gran disponibilidad de datos y de necesidad de contar con información actualizada en tiempo y forma se vuelve crucial disponer de herramientas que permitan su aprovechamiento ■

BIBLIOGRAFÍA

Benzaquén, L., Blanco, D., Bó, R. F., Kandus, P., Lingua, G. F., Minotti, P., & Quintana, R. D. (Eds.). (2017). *Regiones de humedales de la Argentina* (1a ed adaptada). Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales.

Coetzee, S., Ivánová, I., Mitsova, H., & Brovelli, M. (2020). Open Geospatial Software and Data: A Review of the Current State and A Perspective into the Future. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), 90. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020090>

Fabricante, I., Minotti, P., & Kandus, P. (2022). Mapping the spatial distribution of wetlands in Argentina (South America) from a fusion of national databases. *Marine and Freshwater Research*, 74(3), 286-300. <https://doi.org/10.1071/MF22111>

Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., & Guevara, E. (2008). Hole-filled SRTM for the globe Version 4 [Database]. <https://srtm.csi.cgiar.org>.

Pettorelli, N., Schulte To Bühne, H., Tulloch, A., Dubois, G., Macinnis-Ng, C., Queirós, A. M., Keith, D. A., Wegmann, M., Schrodt, F., Stellmes, M., Sonnenschein, R., Geller, G. N., Roy, S., Somers, B., Murray, N., Bland, L., Geijzendorffer, I., Kerr, J. T., Broszeit, S., ... Nicholson, E. (2018). Satellite remote sensing of ecosystem functions: Opportunities, challenges and way forward. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 4(2), 71-93. <https://doi.org/10.1002/rse2.59>

Seco, J. L., Ibarra, F., Micou, A. P., & Chiarito, E. (2023, agosto). Determinación de redes de drenaje mediante sensores remotos. XXVII Congreso nacional de agua. CONAGUA, Buenos Aires, Argentina.

Marcos de referencia geodésicos: el soporte invisible de la precisión en la Argentina

Micaela Carbonetti*, Berenice Deniz** y Sergio Cimbaro***

La geodesia moderna es la columna vertebral de múltiples actividades técnicas y científicas: el relevamiento catastral que permite la ubicación unívoca de las parcelas, la confección de cartografía y sistemas de información geográfica, la planificación urbana, la navegación terrestre, aérea y marítima, las obras de ingeniería civil, la prospección de hidrocarburos, el monitoreo de riesgos naturales, los estudios climáticos y la investigación aplicada dentro de las Ciencias de la Tierra.

En la Argentina, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) cumple un rol estratégico al sostener la infraestructura geodésica del país a través de su área de Marcos de Referencia, dentro de la Dirección de Geodesia. Aunque su labor no siempre es visible, sus productos impactan de forma directa en la calidad, coherencia y utilidad de toda la información geoespacial que se genera en el territorio nacional.

Este artículo presenta el trabajo y los servicios que ofrece esta área del IGN, enfocándose en la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC), el procesamiento geodésico de alta precisión del Centro de Investigaciones Geodésicas Aplicadas (CIGA) y en las herramientas fundamentales para usuarios profesionales como el servicio de posicionamiento PPP-AR y el Modelo de Velocidades de la corteza terrestre (VEL-AR).

Una red que no duerme

El trabajo del área de Marcos de Referencia del IGN no se desarrolla en aislamiento. La Argentina, a través del IGN, es miembro activo de redes y organismos internacionales vinculados con la Geodesia. La Dirección de Geodesia participa del Subcomité de Geodesia del Comité de Expertos de las Naciones Unidas sobre la Gestión Global de la Información Geoespacial (UN-GGIM) y el organismo es socio del Centro de Excelencia Geodésico Mundial de las Naciones Unidas (UN-GG-CE). También es miembro activo del Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS) y del Servicio GNSS Internacional (IGS). La participación en estas organizaciones permite validar los productos nacionales, mejorar los métodos de procesamiento, y asegurar la interoperabilidad regional. Gracias a esta integración, los marcos de referencia geodésicos argentinos están alineados con el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF, por sus siglas en inglés), lo que permite utilizar los datos de RAMSAC y CIGA en proyectos de escala continental o planetaria sin pérdida de precisión o compatibilidad.

RAMSAC es una infraestructura de estaciones permanentes del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que, distribuidas en todo el país, capturan señales satelitales de forma continua. Esta red constituye

la materialización del Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007), y permite mantenerlo actualizado frente a los cambios dinámicos del planeta, como los movimientos tectónicos y la deformación de la corteza terrestre.

Cada estación de RAMSAC está equipada con receptores GNSS de alta precisión, capaces de recibir señales de diferentes constelaciones, y transmitir los datos en tiempo real al IGN. Con alrededor de 150 estaciones sobre el territorio nacional, RAMSAC permite no solo mantener actualizada la georreferenciación en la Argentina en el marco de la Ley 26.209 (Ley Nacional de Catastro), sino también ofrecer datos críticos para aplicaciones científicas, técnicas y operativas. Al momento de instalar cada estación, se tiene en cuenta, por un lado la capacidad de mantener su funcionamiento permanente (energía eléctrica, internet, etc.), y también su ubicación para cubrir de la forma más homogénea posible el amplio territorio nacional, de tal manera que se puedan realizar estudios científicos tanto locales como regionales. En la FIGURA 1, se puede apreciar la distribución espacial de las mismas sobre la parte continental americana del territorio nacional. Además, la red cuenta con 3 estaciones en el continente Antártico.

Procesamiento y análisis de datos GNSS en el Centro de Investigaciones Geodésicas Aplicadas

El Centro de Investigaciones Geodésicas Aplicadas (CIGA), realiza un procesamiento preciso y consistente, tanto de los datos crudos que genera RAMSAC como de estaciones provenientes

*Geofísica. Coordinadora del Centro de Investigaciones Geodésicas Aplicadas, Dirección de Geodesia, Dirección Nacional de Servicios Geográficos, IGN. mcarbonetti@ign.gov.ar

** Ingeniera Agrimensora. Responsable de la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC), Dirección de Geodesia, Dirección Nacional de Servicios Geográficos, IGN. bdeniz@ign.gov.ar

*** Agrimensor. Director de Geodesia, Dirección Nacional de Servicios Geográficos, IGN. scimbaro@ign.gov.ar

FIGURA 1. Distribución de estaciones GNSS de RAMSAC sobre la parte continental americana



Fuente: elaboración propia.

del resto del continente americano y del antártico. Este centro especializado dentro del IGN procesa diariamente las observaciones GNSS de las estaciones de las redes de RAMSAC y SIRGAS, aplicando modelos geofísicos, astronómicos y atmosféricos para lograr soluciones de coordenadas con precisión milimétrica.

El resultado de este procesamiento sistemático es la generación de series temporales de coordenadas para cada estación GNSS permanente sobre el territorio nacional. Estas series son

esenciales para modelar la cinemática del territorio y ofrecer una referencia geodésica consistente a lo largo del tiempo. A partir de ellas se puede estimar cómo se desplaza cada punto geodésico en el tiempo, revelando patrones de deformación de la corteza terrestre, efectos post-sísmicos, subsidencia, entre otros fenómenos.

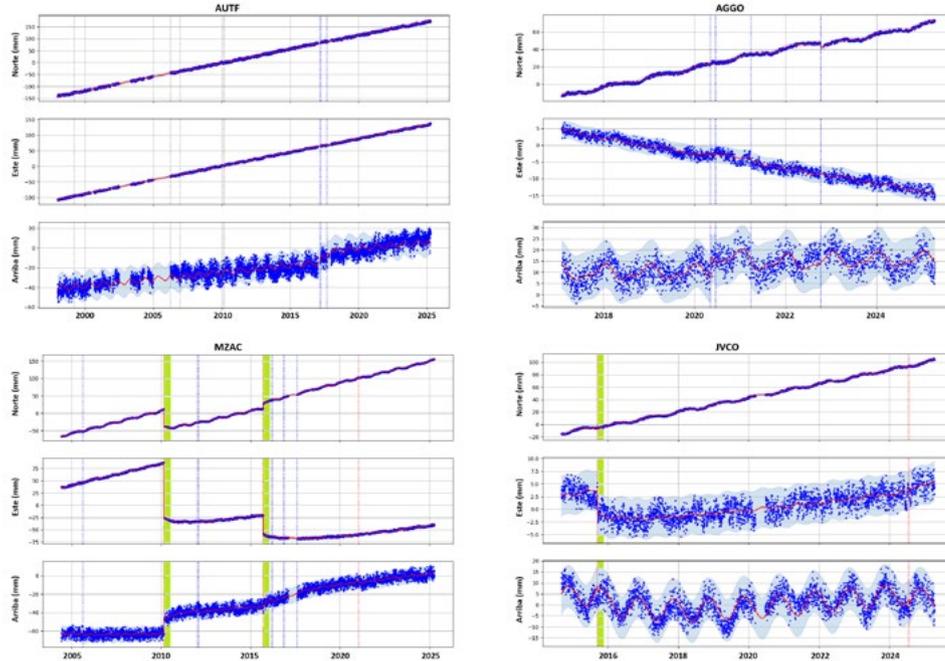
En la FIGURA 2, se observan ejemplos de las series de tiempo en 4 estaciones GNSS pertenecientes a RAMSAC, ubicadas en diferentes lugares del país, de tal manera de visualizar dis-

tintos comportamientos de la corteza terrestre que influyen de diferente manera en las coordenadas. En los gráficos de cada una de las estaciones se observan las componentes planimétricas (Norte y Este), como así también la altura (arriba). Se visualizan con líneas verticales rojas, el momento de los terremotos más importantes ocurridos en la región. El sismo del Maule (27/02/2010) y de Illapel (16/09/2015), que tuvieron magnitudes de 8.8 y 8.3, respectivamente, y que afectaron la posición de la estación MZAC, mientras que la estación JVCO tiene sólo el efecto del sismo de Illapel. Las estaciones AGGO y AUTF, no sufrieron modificaciones abruptas en sus coordenadas por no estar en la zona donde sucedieron los terremotos.

Las estaciones GNSS permanentes se ven afectadas por los movimientos relacionados con la actividad tectónica de la región en la que se encuentran. Existen distintos movimientos de la corteza que se los diferencia de la siguiente manera: una variación lineal asociada al movimiento de las placas tectónicas en las que están situadas las estaciones, los saltos episódicos producto de eventos sísmicos de gran magnitud (terremotos), que generan un desplazamiento abrupto de la corteza en una o varias de sus coordenadas. Luego del terremoto, ocurre una etapa de transición en donde el modelo de velocidad constante (variación lineal), deja de funcionar. En esta etapa post-sísmica, se verifica una variación gradual del movimiento de la corteza causada por la relajación de las tensiones acumuladas durante el terremoto. Con las observaciones GNSS continuas de al menos dos años de cada estación, es posible modelar sus velocidades con buena precisión y obtener una representación modelada del movimiento y deformación de la corteza terrestre.

Haciendo un análisis más detallado de la trayectoria del movimiento de la estación MZAC, se puede ver que previo al sismo de Maule, hay un movimiento lineal "prácticamente" constante, luego se produce el salto propio del sismo (salto episódico), y comienza el proceso de relajación que en la figura está marcado con color verde (variación gradual).

FIGURA 2. Series de tiempo de coordenadas de estaciones RAMSAC



Las estaciones están ubicadas en Ushuaia, provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (AUTF); Observatorio Geodésico Argentino-Alemán, provincia de Buenos Aires (AGGO); Mendoza, provincia de Mendoza (MZAC); Joaquín Víctor González, provincia de Salta (JVCO).

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la redistribución de masas sobre la superficie de la Tierra genera un cambio en la carga o presión sobre la corteza. Esta, apoyada sobre el manto subyacente, responderá deformándose elásticamente en escalas de tiempo anuales. En la componente vertical de las coordenadas GNSS es posible visualizar una componente de periodo anual, atribuida principalmente al efecto de las variaciones estacionales de la carga hidrológica y atmosférica.

Productos clave para la comunidad técnico-profesional

Uno de los valores principales del área de Marcos de Referencia es poner a disposición del público productos derivados del procesamiento GNSS. Estos productos no solo permiten una mejor interpretación de los datos geoespaciales, sino que habilitan prácticas profesionales más precisas, seguras y eficientes.

Los productos y servicios que ofrece el área de Marcos de Referencia son esenciales para múltiples disciplinas. En el ámbito del catastro, permiten definir coordenadas georreferenciadas

en un marco de referencia preciso y legalmente válido de acuerdo a la Ley Nacional 26.209. En ingeniería civil, brindan soporte para obras de infraestructura, monitoreo de deformaciones y control de estructuras. En geofísica y geología, habilitan el análisis de procesos tectónicos, subsidencia y dinámica terrestre. Incluso campos como la meteorología, la hidrología y el clima espacial se benefician de los datos GNSS de RAMSAC, utilizados para modelar el contenido de vapor de agua atmosférico o detectar el contenido total de electrones que encontró la señal en su paso por la ionosfera.

PPP-AR: precisión centimétrica en línea

El servicio de Posicionamiento Puntual Preciso de Argentina (**PPP-AR**) es una herramienta en línea desarrollada por el IGN que permite a los usuarios del sistema GNSS enviar sus propios archivos de datos registrados en campo (formato rinx), para que el IGN realice un procesamiento preciso y les envíe, como resultado, un informe con las coordenadas en el Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 07.

El Posicionamiento Puntual Preciso

es una técnica de posicionamiento basada en el procesamiento de observaciones de código y fase sin diferenciar, obtenidas con un único receptor GNSS. Al eliminarse las limitaciones propias del procesamiento diferencial, permite mayor flexibilidad en las mediciones de campo, reduce los costos de trabajo y equipamiento, y simplifica la logística en las mediciones.

Si bien este método no requiere de ninguna estación base provista por el usuario, se debe tener un conocimiento preciso de las coordenadas de los satélites y del estado de sus relojes (información que semana a semana brindan los centros de procesamiento internacionales), a la vez que se utilizan modelos de carga oceánica y atmosféricos, que proveen la temperatura y humedad de la troposfera. El procesamiento online busca y utiliza todos los modelos adecuados para la época de medición y solo requieren del usuario la carga de los archivos de medición e información del equipo utilizado.

Esta herramienta es especialmente útil para la georreferenciación parcelaria que realizan los agrimensores y el catastro en el marco de la Ley 26.209, como así también para geógrafos,



FIGURA 3. Infografía que muestra el mecanismo de acceso a los archivos rinex de las estaciones RAMSAC, a los procesos en línea de PPP-Ar y a la calculadora VEL-Ar, así como los parámetros a ingresar por los usuarios y los productos que se obtienen de cada uno de ellos.



Fuente: elaboración propia.

geofísicos e ingenieros que necesitan validar puntos GNSS con alta precisión, sin depender de servicios externos o software costoso. Es de uso libre, y su interfaz ha sido diseñada para facilitar la carga de datos y la interpretación de los resultados.

Modelo de velocidades: la Tierra se mueve, y el marco de referencia, también

Un aspecto frecuentemente subestimado en la georreferenciación es el movimiento constante de la corteza terrestre. Las estaciones RAMSAC no permanecen estáticas, sino que se desplazan unos pocos milímetros al año, principalmente por el movimiento de las placas tectónicas.

Actualmente, el IGN provee acceso gratuito online a la última versión disponible del modelo de velocidades argentinas, denominada VEL-Ar v2.0. Este modelo contempla los efectos horizontales de las velocidades inter-sísmicas de la placa sudamericana, los saltos co-sísmicos producto de los sismos en Maule e Illapel, Chile, y las

variaciones no lineales producidas por efectos post-sísmicos debido a estos terremotos de gran magnitud.

El modelo de velocidades desarrollado por el IGN en conjunto con Ohio State University (EEUU) y la Universidad de Memphis (EEUU), cuantifica estos desplazamientos a lo largo del tiempo y permite a los usuarios transformar coordenadas hacia una época de referencia común (Gómez *et al.*, 2015). Esto es crucial para mantener la coherencia en levantamientos que se realizan en años diferentes, o para comparar datos antiguos con mediciones recientes. El modelo está basado en las series temporales procesadas por el CIGA y se actualiza regularmente.

Conclusión

Uno de los grandes desafíos del área de Marcos de Referencia es garantizar la continuidad operativa de las estaciones RAMSAC y el mantenimiento del Marco de Referencia Geodésico

Nacional POSGAR 07, a la vez que se trabaja en incorporar nuevas tecnologías GNSS y expandir la cobertura en regiones con menor densidad de estaciones.

La tarea de mantenimiento del Marco es una labor fundamental que sustenta la precisión de toda la información geoespacial en Argentina. Desde el mantenimiento de las estaciones RAMSAC y el procesamiento de datos geodésicos en el Centro de Investigaciones Geodésicas Aplicadas, hasta los productos derivados del servicio PPP-AR y el modelo de velocidades, esta infraestructura permite a profesionales y científicos trabajar con coordenadas precisas, consistentes y actualizadas.

A futuro, el IGN proyecta integrar más herramientas en línea, fortalecer los procesos de capacitación a usuarios, y seguir ampliando la interoperabilidad con redes de países vecinos. La meta es que la infraestructura geodésica nacional siga siendo una referencia confiable y moderna, adaptada a los desafíos del siglo XXI.

BIBLIOGRAFÍA

Gómez, D. D., Piñón, D. A., Smalley, R., Bevis, M., Cimbaro, S. R., Lenzano, L. E., y Barón, J. (2015). Reference frame access under the effects of great earthquakes: a least squares collocation approach for non-secular post-seismic evolution. *Journal of Geodesy*, 90, 263-273.

Aportes del IGN al conocimiento geoespacial y a la soberanía territorial a partir de su participación en las Campañas Antárticas

Anaía Almirón *, Fermin Ávila ** y Silvina López ***

Desde sus orígenes, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) sostiene un firme compromiso y actuación en la generación de conocimiento sobre el Sector Antártico Argentino, especialmente en los campos de la geodesia, la cartografía y la geografía. Esta labor se traduce en acciones concretas como el establecimiento de redes geodésicas, el monitoreo de glaciares y la producción y difusión de cartografía oficial que representa de manera integral el territorio nacional, incluyendo el sector antártico, desde una perspectiva bicontinental.

En materia cartográfica y geográfica, el compromiso de reafirmar la presencia argentina en la Antártida se manifiesta tempranamente a través del Decreto N° 8944/1946, que prohíbe la publicación de mapas que no representen el territorio nacional incluyendo el continente antártico e islas del Atlántico Sur. Cuatro años después, el IGN publicó el primer mapa bicontinental de la República Argentina. Décadas más tarde, la Ley N° 26651/2010, reforzó este posicionamiento al establecer que el mapa bicontinental confeccionado por el IGN debe exhibirse obligatoriamente en todos los organismos públicos y utilizarse en todos los niveles del sistema educativo. Este mapa permite observar la totalidad del territorio nacional en sus proporciones reales, mostrando que el Sector Antártico Argentino equivale a casi un tercio del territorio continental americano.

En la actualidad, el IGN ha emprendido un proyecto institucional que contem-

pla un proceso integral de actualización de la cartografía oficial del Sector Antártico Argentino a escala 1:500 000, como así también, de generación de información geoespacial de detalle de todas las bases antárticas argentinas. Este trabajo contempla el relevamiento bibliográfico y de recorrido en campo para el reconocimiento y la identificación de nuevos objetos geográficos, así como la normalización y validación de su toponimia siguiendo principios y directrices internacionales en la materia. Entre los propósitos de este trabajo, se destaca la construcción de un nomenclador geográfico de toponimia antártica que contemple un listado único de Nombres Geográficos (NG) normalizados y validados oficialmente con el objetivo de defender, a través del conocimiento territorial, nuestro legítimo reclamo soberano sobre el Sector Antártico Argentino.

La producción cartográfica y la construcción de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se complementan con el conocimiento territorial desde distintos campos de trabajo científico que recapitula el Atlas de la Antártida Argentina, el primer atlas geográfico digital argentino sobre este territorio. Sus contenidos son desarrollados en colaboración con expertos argentinos de organismos e instituciones científicas que trabajan activamente en el continente antártico.

En este contexto, el IGN ha consolidado su presencia en las Campañas Antárticas de Verano (CAV), realizando diferentes actividades como los vue-

los fotogramétricos con drones sobre diversas zonas como Cerro Nevado, Isla James Ross y las bases Marambio (2020), Esperanza y Petrel (2024) y Carlini (2025).

En la CAV 2024-2025, por primera vez, se conformó el grupo denominado "Topografía y SIG", integrado por los tres autores de este artículo, que llevó adelante tareas de relevamiento topográfico, geonavegación y validación de datos geoespaciales en las bases Marambio y Esperanza. El trabajo realizado durante los meses de enero y febrero de 2025 facilitó la recopilación de datos para la actualización de la cartografía antártica oficial y un relevamiento exhaustivo de las bases antárticas argentinas para la generación de un SIG con un propósito operativo.

Las actividades desarrolladas incluyen:

- Relevamiento de puntos de apoyo en terreno para mejorar la precisión de los mapas a partir de los vuelos con drones.
- Recopilación de nombres geográficos existentes y la identificación de objetos sin toponimia.
- Obtención de datos geográficos mediante observaciones in situ e intercambio con equipos de personal científico del Instituto Antártico Argentino (IAA) que realizan actividades en distintas bases antárticas argentinas.
- Relevamiento y actualización de información de las edificaciones e infraestructuras de las bases.
- Confección de cartografía de detalle y armado de un SIG para el área de influencia de las bases Esperanza y Marambio.

* Profesora en Geografía. Responsable del Atlas Nacional Interactivo de Argentina (ANIDA) y del Atlas de la Antártida Argentina¹, IGN. caalmiron@ign.gov.ar

** Sargento Ayudante, Técnico del Servicio Geográfico Militar, IGN. favila@ign.gov.ar

*** Licenciada en Geografía. Responsable del Sector de Información Geográfica, IGN. slopez@ign.gov.ar

¹Se encuentra disponible en línea: <https://antartida-anida.ign.gov.ar/static/atlas-antartida-web/>

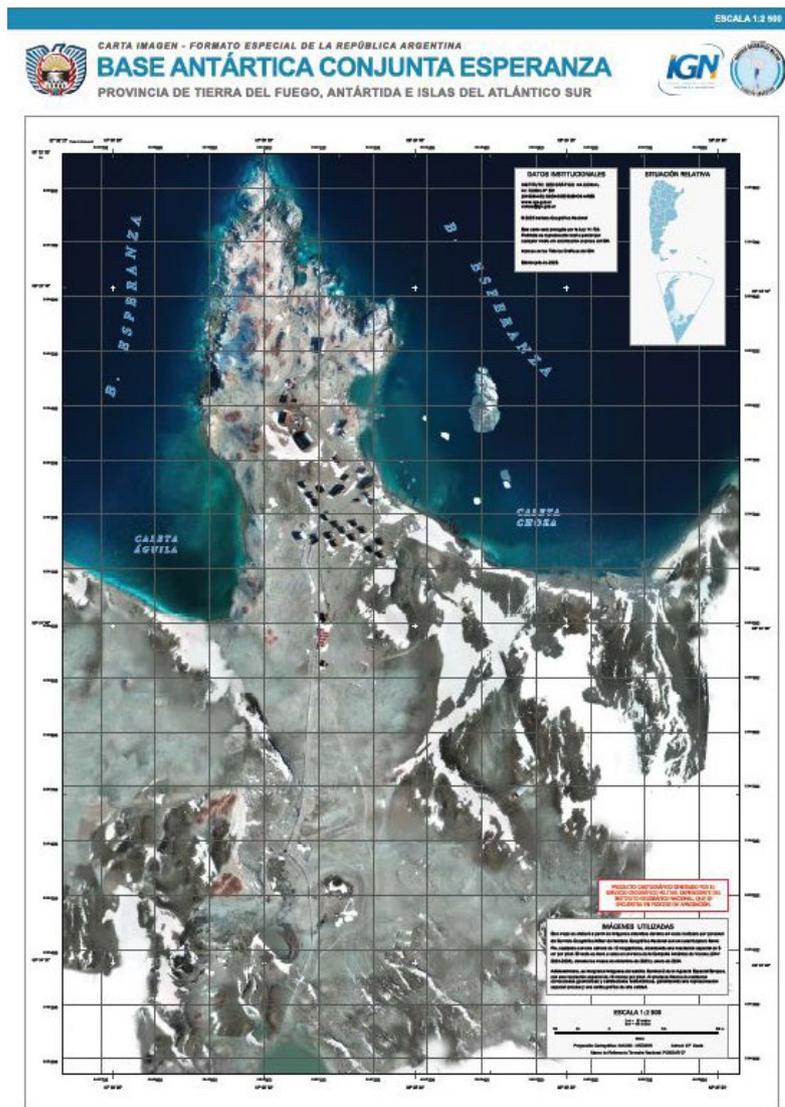
Este trabajo se apoya en la revisión de cartografía antecedente (cuya última edición se realizó en la década del '70) y, a partir de las imágenes de los vuelos fotogramétricos de las bases antárticas relevadas, avanza hacia una actualización rigurosa basada en criterios de normalización y validación de la información geográfica, especialmente en lo relativo a los nombres geográficos del Sector Antártico Argentino y de las islas del Atlántico Sur.

Al momento de la publicación de este artículo, el IGN está en una etapa avanzada de la elaboración de productos cartográficos en escalas mayores (en formatos carta imagen y topográficos) a partir del trabajo del equipo del Servicio Geográfico Militar del IGN. Esta producción se propone obtener una cartografía de utilidad tanto para la gestión del territorio por el personal logístico y de apoyo como para la investigación científica. Además, esta cartografía realiza su aporte a la divulgación del conocimiento del territorio de las bases antárticas argentinas.

A modo de ejemplificación, presentamos aquí la cartografía elaborada (en proceso de revisión y aprobación final) de la Base Esperanza (Figuras 1, 2 y 3).

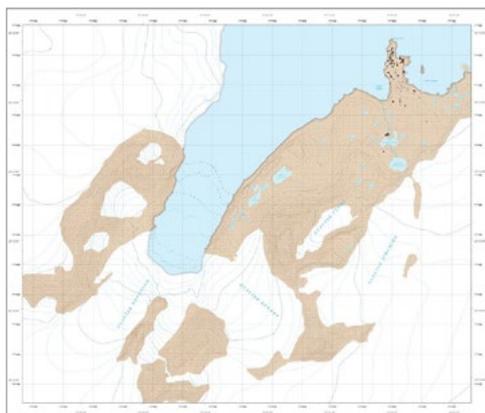
Con estas acciones, el IGN reafirma su rol como organismo rector de la cartografía oficial, impulsando el conocimiento científico, el acceso público a la información geoespacial y el ejercicio soberano de la Argentina sobre su territorio bicontinental.

FIGURA 1. Carta imagen de Base Esperanza (Escala: 1:2 500)



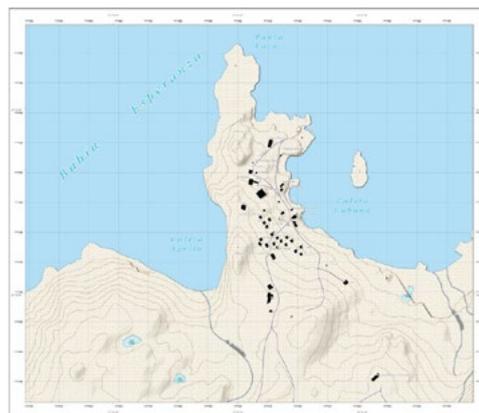
Fuente: IGN.

FIGURA 2. Fragmento de la carta topográfica de Base Esperanza y su área de influencia (Escala 1:10 000)



Fuente: IGN.

FIGURA 3. Fragmento de la carta topográfica de Base Esperanza (Escala 1:2 500)



Fuente: IGN.

Nomenclador Geográfico Nacional.

Gestión y acceso a los Nombres Geográficos oficiales de la República Argentina

Silvina López * y María Dolores Puente**

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) como organismo rector de la cartografía oficial de nuestro país es el responsable de la gestión de los Nombres Geográficos (NG), cuyo principal objetivo comprende la normalización y validación de la toponimia oficial.

Se entiende por normalización al establecimiento, por medio de una autoridad competente, de normas y principios para dar uniformidad a los nombres geográficos y por otro lado, a la adaptación de esos nombres a dichas normas, en tanto que la validación garantiza la aprobación final y oficial de cada uno de ellos.

Los nombres geográficos constituyen un dato fundamental para la gestión de la información geoespacial y desempeñan un papel clave en el desarrollo de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Desde una perspectiva cultural, además, representan un resguardo de la identidad y forman parte del patrimonio inmaterial de los pueblos. En este contexto, el IGN ha desarrollado una herramienta web destinada a gestionar los procesos de normalización y validación de los nombres geográficos oficiales, así como a promover su preservación, acceso público y difusión.

El primer paso de este proyecto ha sido la elaboración de un documento técnico denominado “Principios y Directrices para la definición de Nombres Geográficos en la República Argentina”, que establece reglas de escritura de los nombres geográficos, competencias jurisdiccionales, principios y directrices para la definición de nombres geográficos y pautas para la elaboración de propuestas de nuevos nombres o modificaciones de los ya existentes. Este documento ha sido elaborado teniendo en cuenta recomen-

daciones del Grupo de Expertos de las Naciones Unidas en Nombres Geográficos (UNGEGN, por su sigla en inglés), con el objetivo de contribuir tanto a la normalización nacional como internacional, garantizando el cumplimiento de buenas prácticas globales y cumpliendo la máxima de una única forma de escritura por cada objeto geográfico.

En línea con estos principios, el Nomenclador Geográfico Nacional fue diseñado para consolidar un sistema integral y accesible orientado a normalizar, validar y difundir la toponimia oficial de la República Argentina. Esta herramienta no sólo sistematiza los nombres geográficos existentes, sino que también habilita procesos participativos y técnicos para su actualización continua. La plataforma se plantea como una herramienta que promueve la equidad en el reconocimiento toponímico al tiempo que refuerza la soberanía cartográfica del país mediante el uso coherente y oficial de los nombres geográficos en todas las escalas de producción geoespacial.

Al integrar datos normalizados, referencias documentales y atributos referidos a los nombres (como idioma, variantes, significado, motivo, alcance), se convierte en una base oficial sólida que reduce errores en el tratamiento de la información geográfica y a la vez sirve para estudios históricos, sociales, culturales, entre otros.

La información básica proviene de la Base de Datos Geográfica Institucional (BDGI) del IGN, la cual reúne, organiza y actualiza sistemáticamente todos los NG georreferenciados que figuran en la cartografía oficial del organismo en las diferentes escalas de representación.

El enfoque multiescalar contribuye a la trazabilidad de los datos y permite vincular cada topónimo con su geometría correspondiente, su contexto espacial y su marco normativo, todos aspectos fundamentales para asegurar la coherencia semántica y cartográfica en la producción de información geoespacial.

La herramienta se encuentra disponible como una plataforma web interactiva, que ofrece a los usuarios la posibilidad de realizar diferentes tipos de búsqueda (FIGURA 1) mediante filtros sencillos o combinados, siendo los criterios de selección más importantes los siguientes:

- Nombre geográfico: para buscar topónimos específicos o parte de los mismos, desplegando todas las coincidencias posibles.
- Catálogo de objetos geográficos: especificando clase, subclase y tipo de objeto
- Ubicación geográfica: para encontrar topónimos dentro de un área geográfica definida.
- Referencias cartográficas: para buscar topónimos basados en mapas o documentos cartográficos históricos del IGN en diferentes escalas.

Además de proporcionar los nombres y ubicaciones geográficas, la plataforma ofrece información complementaria de detalle sobre cada topónimo, tales como:

- Origen del topónimo: información sobre las raíces lingüísticas y culturales del nombre.
- Historia y evolución de la denominación: el registro histórico de cambios o correcciones en el nombre a lo largo del tiempo.
- Fuentes documentales: referencias a los documentos que validan y sustentan la existencia y uso del topónimo.

* Licenciada en Geografía. Coordinadora Sector Información Geográfica, Área de Geografía, Dirección Nacional de Servicios Geográficos, Instituto Geográfico Nacional. slopez@ign.gov.ar

** Profesora y Licenciada en Geografía. Responsable del Área de Geografía, Dirección Nacional de Servicios Geográficos, Instituto Geográfico Nacional. dpuente@ign.gov.ar

- Particularidades específicas: detalles únicos sobre el nombre, como su relevancia histórica o cultural.
- Escala de visualización: posibilidad de ajustar la visualización según la escala del mapa.
- Documentación legal y cartográfica: acceso a normativas, leyes y mapas de referencia relacionados con el nombre geográfico.
- Fotografías ilustrativas: en caso de estar disponibles, imágenes del lugar o de documentos históricos asociados al topónimo.

Los resultados pueden visualizarse en el visor de mapas y exportarse en archivos de distintos formatos para facilitar

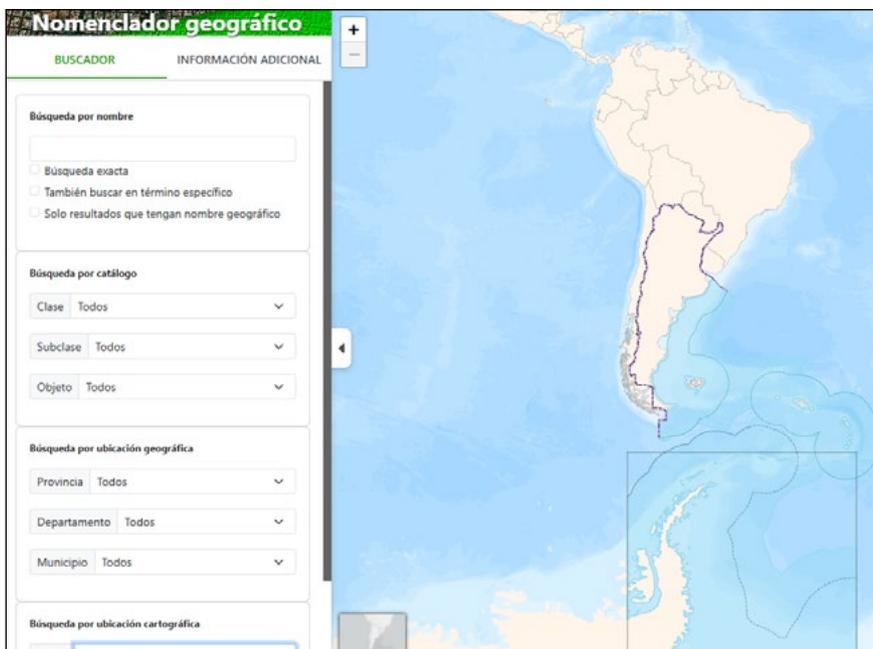
su análisis y uso: CSV, Excel, PDF y JSON (FIGURA 2). A su vez, es posible incorporar archivos ilustrativos provenientes de diversas fuentes, como resoluciones, cartas topográficas, imágenes o enlaces web. Toda la información normalizada y validada se encuentra disponible para consulta y descarga, y cuenta con un Código Único (COI) asociado a la geometría y un Código Unificador (COU) vinculado a los nombres geográficos, los cuales permiten la identificación precisa y unívoca de todos los objetos geográficos y su vinculación a la BDGI.

El Nomenclador aspira a consolidarse como la fuente oficial y autorizada de nombres geográficos de todo el territorio nacional y contar con esta herramienta

representa un avance en la construcción de conocimiento geoespacial confiable. Su existencia garantiza la utilización coherente, estandarizada y actualizada de los topónimos en todas las instancias de producción cartográfica, pero sobre todo constituye una herramienta estratégica para la soberanía, la seguridad e identidad territorial. Esta normalización nacional a su vez contribuye con la normalización internacional permitiendo el resguardo de nuestra memoria colectiva y el respeto por la identidad local.

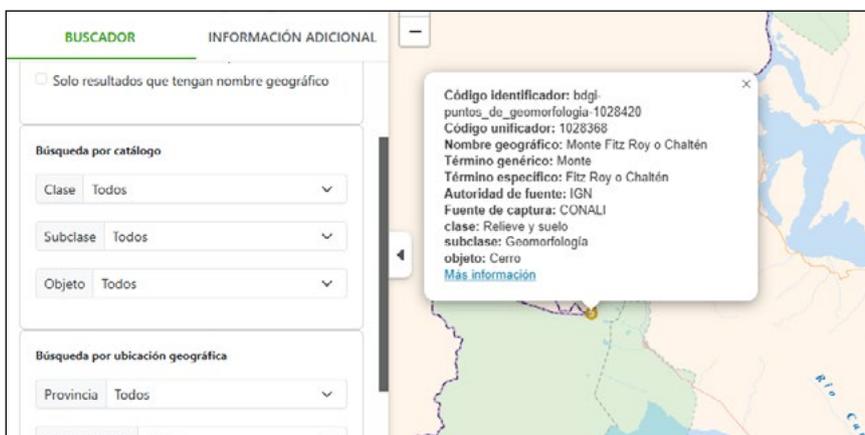
Podés ingresar al Nomenclador en el siguiente enlace

<https://dig.ign.gov.ar/nomenclador/index.php>



Fuente: IGN.

FIGURA 1. Nomenclador Geográfico Nacional del IGN, con criterios de búsqueda de los nombres geográficos oficiales



Fuente: IGN.

FIGURA 2. Visualización de resultados de una búsqueda en el Nomenclador Geográfico Nacional

Nuevo Atlas Geográfico de la República Argentina del Instituto Geográfico Nacional

Lucas Ramírez*, Sabrina Juárez** y María Dolores Puente***

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) ha realizado una nueva edición del Atlas Geográfico de la República Argentina. A través de mapas temáticos, imágenes satelitales, gráficos y datos actualizados, esta obra permite abordar de manera integral los aspectos físicos, sociales, económicos y ambientales de nuestro país. Se constituye así en una herramienta fundamental tanto para el ámbito educativo como para quienes se interesan en la geografía nacional. Con publicaciones como esta, el IGN reafirma su rol central en la producción y difusión de información geográfica confiable y de calidad.

La edición actualizada y renovada del Atlas Geográfico de la República Argentina es una obra esencial para explorar y comprender la riqueza y diversidad del territorio argentino. Esta edición incorpora cartografía actualizada, nuevos datos y análisis que reflejan tanto los cambios recientes como los elementos persistentes en la geografía del país, reafirmando el compromiso del Instituto con la accesibilidad y difusión de la información geográfica. Además, esta obra incluye textos didácticos útiles para comprender conceptos clave de geografía, cartografía y geodesia. Este atlas, pensado, desarrollado y diseñado en su totalidad por personal del IGN, es una herramienta indispensable para quienes buscan comprender el espacio que habitamos y nuestra relación con el mundo.

* Doctor en Ciencias Sociales y Licenciado en Geografía. Coordinador del Sector de Publicaciones del Área de Geografía, Dirección Nacional de Servicios Geográficos, Instituto Geográfico Nacional. lr Ramirez@ign.gov.ar

** Licenciada y Profesora en Geografía. Sector de Publicaciones del Área de Geografía, Instituto Geográfico Nacional. sjuarez@ign.gov.ar

*** Licenciada y Profesora en Geografía. Responsable del Área de Geografía, Dirección Nacional de Servicios Geográficos, Instituto Geográfico Nacional. dpuente@ign.gov.ar

La historia de los Atlas Geográficos del IGN/IGM

El IGN, previamente denominado Instituto Geográfico Militar (IGM), posee una larga historia en la publicación de Atlas Geográficos de la República Argentina. El primer Atlas fue publicado por el IGM en 1953, resultado de la incorporación de nuevos recursos humanos y la búsqueda de una mayor difusión de información geográfica para docentes, investigadores e, incluso, para actividades como el turismo (Gatti, 2015). Este Atlas presentaba mapas políticos y físicos de las provincias, acompañado con información y fotografías. Desde ese momento y hasta las décadas de 1970, el Instituto reeditó el Atlas varias veces, incorporando más contenido y trabajando en colaboración con otros organismos públicos.

En 1979, al celebrarse el centenario del IGM, ese Atlas fue relanzado con un diseño renovado y un contenido ampliado y actualizado, el cual incluía una hoja de calcar superpuesta al mapa político donde se representaban las principales actividades económicas. Eso permitía la visualización de distintas capas de información en un mismo mapa. Esta edición fue diseñada como un recurso didáctico para la enseñanza de la geografía en los niveles primario y secundario (Ramírez y Balcarce, 2022).

En 2011, se lanzó una nueva versión, en la cual se le asignó un lugar destacado al uso de los mapas satelitales, pudiendo así apreciar características de la superficie terrestre desde otra perspectiva. Por este motivo los mapas provinciales se dividieron en mapas físicos, políticos y satelitales, con imágenes Landsat de alta resolución espacial. De esta forma se triplicó la cantidad de cartografía disponible con respecto a las ediciones anteriores (Gatti, 2015).

En 2015, el IGN publicó una nueva edición del Atlas Geográfico de la República Argentina, una obra de más de trescientas páginas que incluyó un recorrido por

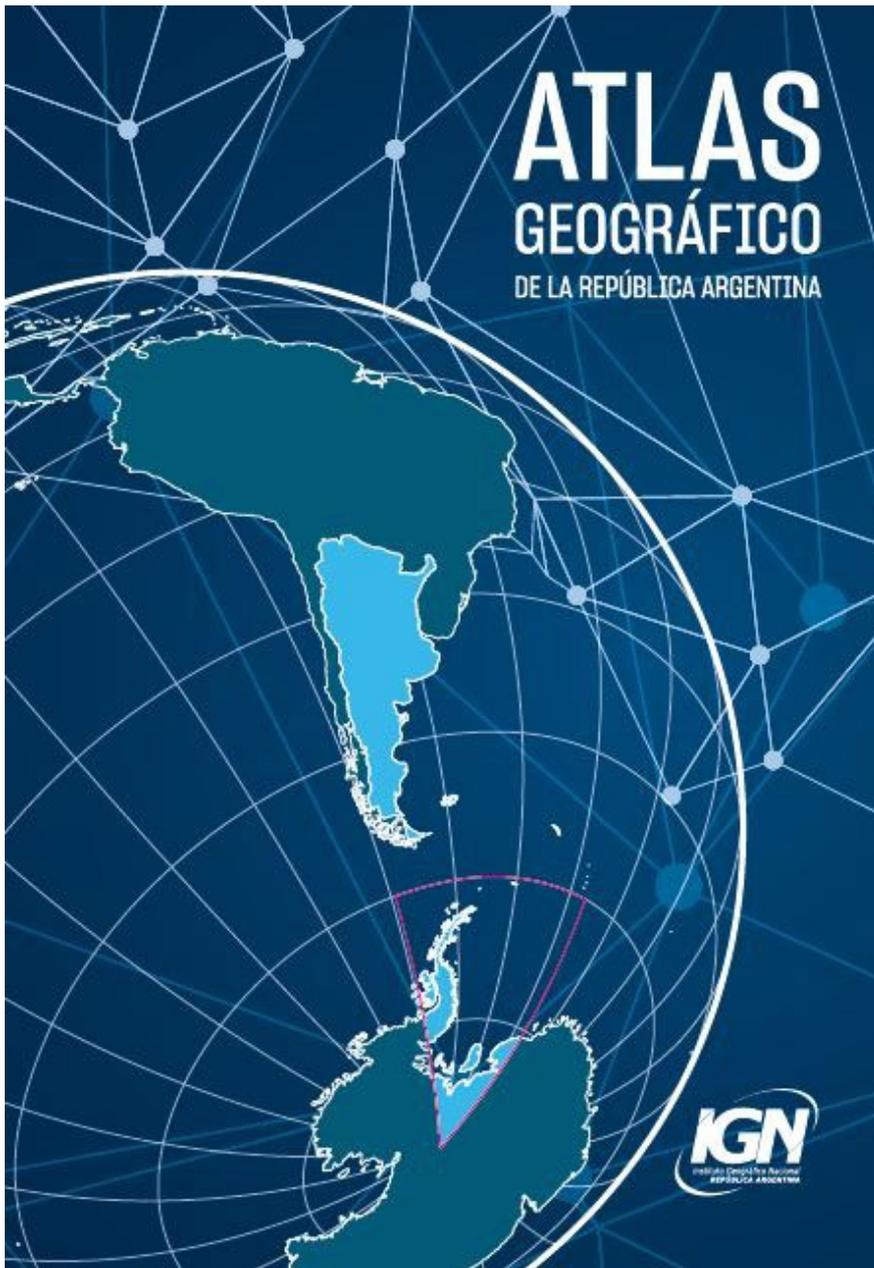
la historia de la cartografía, conceptos clave de cartografía y geodesia, y una mirada propia sobre la ubicación geopolítica de Argentina en el mundo. Asimismo, incorporó información actualizada sobre aspectos físicos, políticos, humanos y económicos del país, tanto a escala nacional como provincial.

El nuevo Atlas de 2025 (FIGURA 1) retoma la tradición histórica del Instituto de difundir información geográfica actualizada mediante la compilación y análisis de datos estadísticos y cartografía a nivel nacional y provincial. Por un lado, recupera la clásica presentación de información provincia por provincia, incluyendo mapas físicos, políticos y satelitales junto con información estadística. Por otro lado, continúa con las novedades de la edición 2015, la cual incluye secciones dedicadas a textos explicativos sobre geografía, cartografía y geodesia. A su vez, posee varias novedades, tales como la ampliación de textos explicativos sobre las distintas características de las provincias argentinas, información sobre las relaciones internacionales de la República Argentina, la presentación de mapas continentales, la incorporación de nuevas temáticas y cartografía a nivel nacional, la inclusión de nuevos conceptos en el glosario final y un diseño gráfico renovado.

El desarrollo del Atlas: un trabajo en equipo

El desarrollo de este Atlas, tanto en la producción de contenido como en su diseño e impresión, implicó una serie de etapas articuladas que involucraron a distintas áreas del IGN. En una primera etapa, desde el Sector de Publicaciones del Área de Geografía, se diagramaron los contenidos y se listaron los distintos mapas a elaborar. La última edición del Atlas sirvió como punto de partida, ya que de ella se extrajeron datos clave y buena parte de la estructura del contenido. A partir de allí, se iniciaron las

FIGURA 1. Tapa del nuevo Atlas del IGN



tareas de redacción, recopilación de información estadística y selección de información geográfica proveniente de la Base de Datos Geospaciales Institucional, gestionada por la Dirección de Información Geoespacial. La información estadística se obtuvo gracias a la colaboración de diversos organismos públicos, tanto mediante solicitudes directas como a través del uso de datos de acceso público. En esta etapa inicial también participó el Área de Artes Gráficas, responsable de elaborar un primer boceto del diseño y la estética general del Atlas.

En una segunda instancia, el trabajo de la Dirección Nacional de Producción Cartográfica fue fundamental. A través de un esfuerzo articulado entre sus direcciones, se elaboró la totalidad de la cartografía presentada en esta nueva edición. Por un lado, la Dirección de Sensores Remotos, dependiente de esta Dirección Nacional, se encargó de la descarga y el procesamiento de imágenes satelitales para la generación de mosaicos provinciales en color natural. Por otro lado, la Dirección de Cartografía fue responsable

de la confección de los distintos mapas provinciales, nacionales, continentales y del mundo. A su vez, ambas direcciones, junto con la dirección de Geodesia, asesoraron al Área de Geografía en el desarrollo del contenido teórico correspondiente a sus áreas de especialización.

En una tercera instancia, una vez realizados los mapas y los mosaicos satelitales, se procedió a la revisión de los contenidos y textos elaborados, procurando una articulación precisa entre la cartografía y la información teórica. Durante esta etapa, los Sectores de Información Geográfica y Revisión Geográfica del Área de Geografía llevaron adelante un minucioso trabajo de verificación, con especial atención en la corrección de la toponimia, la consistencia de la información general y la adecuación de la presentación de los datos y mapas a los lineamientos del Estado Nacional en materia de representación del territorio argentino.

Posteriormente, el trabajo en conjunto de los diseñadores del IGN fue clave para el diseño final del Atlas. Su intervención no se limitó únicamente a la maquetación, sino que abarcó el diseño integral de la obra, incluyendo la definición de la estética general y la composición visual. Además, tuvo un rol central en la elaboración de una gran parte de los gráficos e imágenes que acompañan e ilustran los contenidos. Asimismo, la impresión del Atlas es realizada en los talleres gráficos del IGN, también pertenecientes a esta área.

El resultado final es el fruto del trabajo en equipo del Instituto aquí presentado que, si bien se expone de forma secuencial y esquemática, implicó una articulación dinámica para ir afinando el producto definitivo. A su vez, se contó con la colaboración de la Dirección de Planificación, Investigación y Desarrollo para el control de calidad y la coordinación entre las distintas áreas involucradas.

Estructura y organización del contenido del Atlas

El Atlas se estructura en cinco secciones que organizan el contenido teórico y la información geográfica del país. La primera sección ofrece un recorrido por conceptos geográficos clave, una breve introducción a la cartografía y su historia,

FIGURA 2. Imágenes satelitales (fragmento de la segunda sección)



y un énfasis en la producción cartográfica. Además, se abordan los elementos fundamentales para la representación e interpretación de mapas políticos y físicos, finalizando con las diferentes formas posibles de representación de datos.

La segunda sección se centra en las imágenes satelitales (FIGURA 2), desde su producción hasta su interpretación, utilizando ejemplos que muestran tanto paisajes naturales como transformaciones sociales en el territorio.

La tercera sección está orientada a analizar el vínculo entre Argentina y el mundo. Se aborda el contexto global y la posición del país dentro de este, considerando sus relaciones con cada uno de los continentes desde los ámbitos diplomático, comercial y migratorio. Para ello, se incorpora información estadística junto con mapas continentales. Además, se incluye un listado de países y dependencias con datos básicos.

Por su parte, la cuarta sección se dedica a la escala nacional. Presenta información sobre la geografía física del país, incluyendo relieve, clima, cuencas y regio-

nes hídricas, ecorregiones y sismicidad. También aborda aspectos demográficos y la estructura de la población, considerando el acceso a servicios básicos, las condiciones de las viviendas, entre otros factores. Además, se analiza el aspecto económico, contemplando los sectores y ramas de la economía, así como las importaciones y exportaciones del país.

La quinta sección constituye el corazón del Atlas y recorre las principales características geográficas de cada una de las provincias que conforman la República Argentina (FIGURA 3 a y b). En ella se desarrollan las dimensiones políticas, físicas, sociodemográficas y económicas. Para ello, se emplean diversos recursos, tales como mapas, gráficos, tablas, textos explicativos e imágenes satelitales.

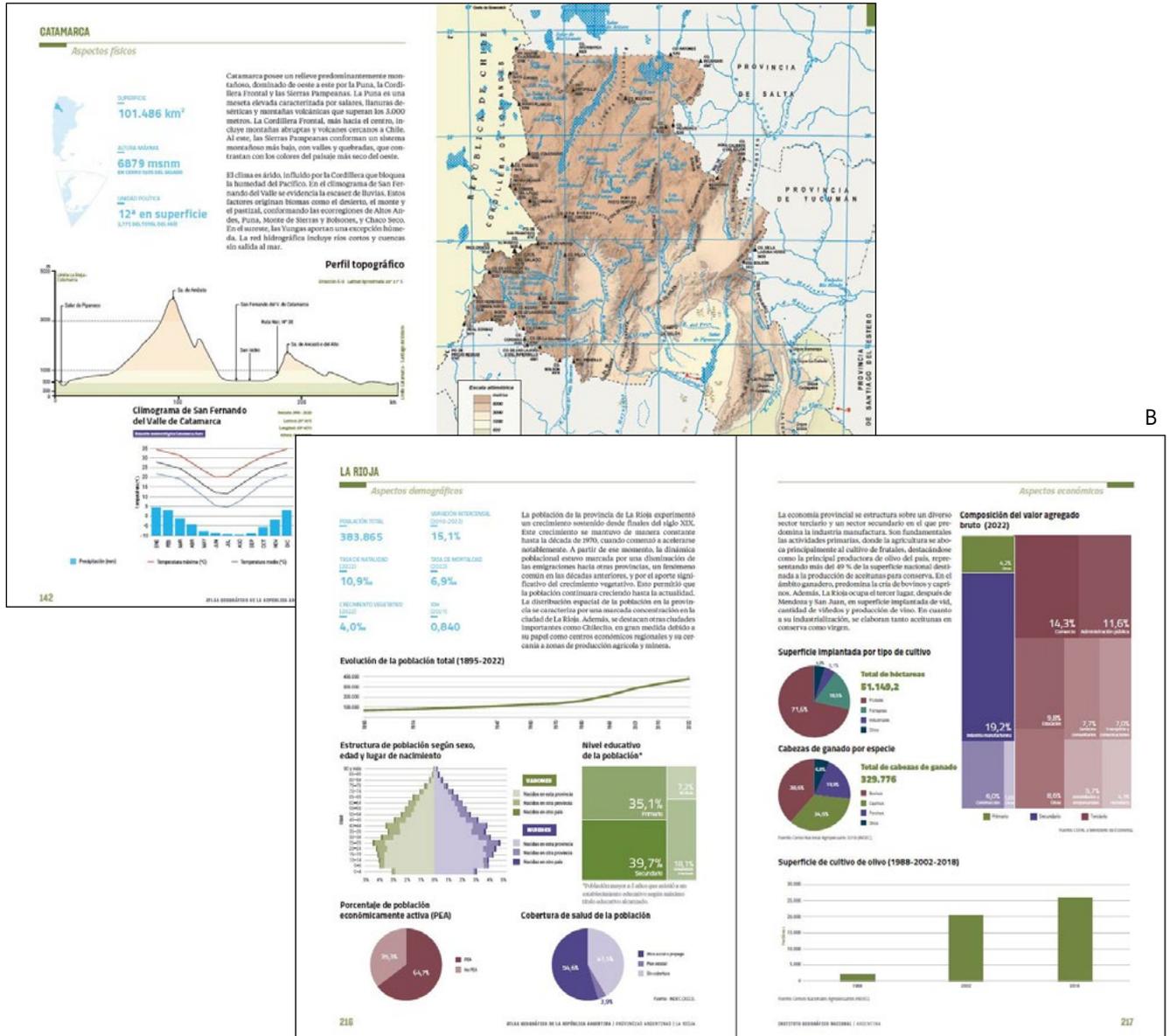
Finalmente, se presenta un glosario de términos geográficos como anexo, con la intención de brindar una fuente de consulta para facilitar la comprensión del contenido general.

Conclusión

El Atlas Geográfico de la República Argentina constituye una expresión concreta del rol fundamental que desempeña el IGN como organismo responsable de la representación cartográfica oficial del territorio nacional. Esta nueva edición no solo ofrece una actualización rigurosa de la información geoespacial del país, sino que también refleja la evolución de las metodologías, tecnologías y enfoques utilizados por el IGN en la producción de cartografía e información territorial.

A través de una articulación entre herramientas técnicas actuales —como los sistemas de información geográfica, las imágenes satelitales y las bases de datos espaciales— y la tradición histórica del Instituto en la elaboración de obras geográficas, el Atlas se presenta como un producto integral, preciso y accesible. Es, al mismo tiempo, una fuente de consulta confiable y un punto de partida para nuevas discusiones sobre el espacio que habitamos, su organización, sus dinámicas y su relación con el mundo.

FIGURA 3. Provincias argentinas (fragmentos de la quinta sección)



Fuente: Atlas Geográfico de la República Argentina 2025 (IGN).

BIBLIOGRAFÍA

Gatti, I. (2015). Evolución en los últimos 60 años de los Atlas del Instituto Geográfico Nacional (IGN). *Actas Congreso Internacional de Geografía*, 81-94.

Instituto Geográfico Militar (1953) *Atlas de la República Argentina*, Ciudad de Buenos Aires. IGM.

Instituto Geográfico Militar (1979) *Atlas de la República Argentina*, Ciudad de Buenos Aires. IGM.

Instituto Geográfico Nacional (2015). *Atlas Geográfico de la República Argentina*. Ciudad de Buenos Aires. IGN.

Instituto Geográfico Nacional (2025) *Atlas Geográfico de la República Argentina*. Ciudad de Buenos Aires, IGN.

Ramírez, L., y Balcarce, M. (2022). Los atlas geográficos del IGN: reconstrucción histórica y reflexiones acerca de su potencialidad como material didáctico. *XXIII Jornadas de Investigación, Enseñanza y Extensión de la Geografía*. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.15472/ev.15472.pdf

Nuevo equipamiento para la producción aerofotogramétrica del IGN

Sebastián Gabriel Ludueña* y Laura Pietrangelo**

Introducción

Dentro de las misiones y funciones asignadas al Instituto Geográfico Nacional (IGN) por las leyes N° 22.963 (Ley de la Carta) y N° 16.828 (Ley de cubrimiento fotogramétrico del país), la Dirección de Sensores Remotos (DSR) tiene entre sus objetivos principales (establecidos a través del Decreto 2101/15 y de la Decisión Administrativa 489/19) gestionar la captura y procesamiento de datos geoespaciales obtenidos a partir de vuelos aerofotogramétricos con avión, a fin de generar información geográfica de base detallada, precisa y actualizada, como insumo fundamental para el conocimiento del territorio nacional y su representación cartográfica en distintas escalas.

En este sentido, en Mayo del año 2011, el IGN incorporó tecnología de vanguardia a través de la adquisición de una cámara aerofotogramétrica digital para avión (Vexcel UltraCam Xp), junto con un sistema de componentes interrelacionados para poder procesar los datos obtenidos y generar productos y subproductos fotogramétricos a partir de imágenes digitales (Pietrangelo y Sassone, 2012). Dicha tecnología revolucionó la cadena de producción de la DSR, dada la automatización de buena parte de la cadena del proceso de datos, lo que redujo notoriamente los tiempos en la producción de información.

En el año 2020, en el marco del Fondo Nacional de la Defensa (FONDEF), el

Instituto Geográfico Nacional presentó ante la Secretaría de Investigación, Política Industrial y Producción para la Defensa del Ministerio de Defensa, la posibilidad de una alianza estratégica con la Dirección de Aviación del Ejército, para la adquisición de un avión y equipamiento fotogramétrico con la más alta tecnología disponible, destinados a la realización de vuelos fotogramétricos y relevamiento de información geoespacial.

Esta adquisición, que se concretó en Julio de 2024, permite al Ejército Argentino (EA) recuperar su capacidad aerofotográfica, discontinuada desde 2011, y al IGN incrementar significativamente la capacidad de relevamiento de información geoespacial a un muy bajo costo operativo, disponiendo de una herramienta de uso exclusivo para la captura de información geoespacial. De esta manera, el equipamiento fotogramétrico recibido, que se describe en los siguientes párrafos, marca el comienzo de una nueva etapa en la producción aerofotogramétrica del IGN.

Características del equipamiento recibido

El equipamiento adquirido está compuesto por un avión fotográfico Diamond DA-62 MPP "Survey Star", una cámara aérea fotogramétrica digital Vexcel UltraCam Eagle Mk3, y un sensor aéreo laser LiDAR (Light Detection and Ranging) Riegl-VQ780II, junto con equipos físicos complementarios de posicionamiento y navegación, y hardware y software para procesamientos de los datos capturados por ambos sensores. Todo este conjunto tecnológico de última generación constituye un sistema

de avanzada para el relevamiento de la geografía y topografía del territorio nacional, instrumento único en el ámbito de los organismos pertenecientes al Estado Nacional.

Avión Diamond DA-62 MPP: este modelo de la empresa Diamond Aircraft Industries es un avión utilitario, bimotores, de altas prestaciones y bajos costos de consumo y mantenimiento. Sus dimensiones, aviónica (software e instrumental de navegación y vuelo) y diseño son exclusivos para desarrollar tareas de relevamiento topo-cartográfico y captura de información geoespacial, con el cableado y conexiones adaptados para ello, características únicas dentro de la flota de aviones de las Fuerzas Armadas (FIGURA 1).

La operación y mantenimiento del avión está a cargo de la Dirección de Aviación del Ejército Argentino, el cual estará principalmente asignado para uso fotogramétrico del IGN. Además, el EA podrá entrenar a sus pilotos y copilotos durante las misiones fotogramétricas.

Cámara digital Vexcel UltraCam Eagle Mk3: es un dispositivo fotográfico digital de última tecnología, de gran formato, tiene una distancia focal de 100 mm y releva una cobertura del terreno de 5100 x 7938 m por toma (FIGURA 2). Posee la capacidad multispectral, al capturar simultáneamente en las bandas Azul-Verde-Rojo (R, G, B), Infrarrojo cercano (NIR) y Pancromático, a una elevada velocidad de disparo (una imagen cada 1,5 segundos) y produce imágenes de 450 megapíxeles, de alta calidad radiométrica (14 bits), adecuadas para una amplia variedad de aplicaciones. La cámara cuenta con dos unidades de almacenamiento sólido, intercambiables en vuelo, que permiten almacenar

* Licenciado en Geografía y Master of Science en Geoinformación y Observación Terrestre. Director de Sensores Remotos, Instituto Geográfico Nacional. sludueña@ign.gov.ar

** Ingeniera Geógrafa. Directora Nacional de Producción Cartográfica, Instituto Geográfico Nacional. lpietrangelo@ign.gov.ar

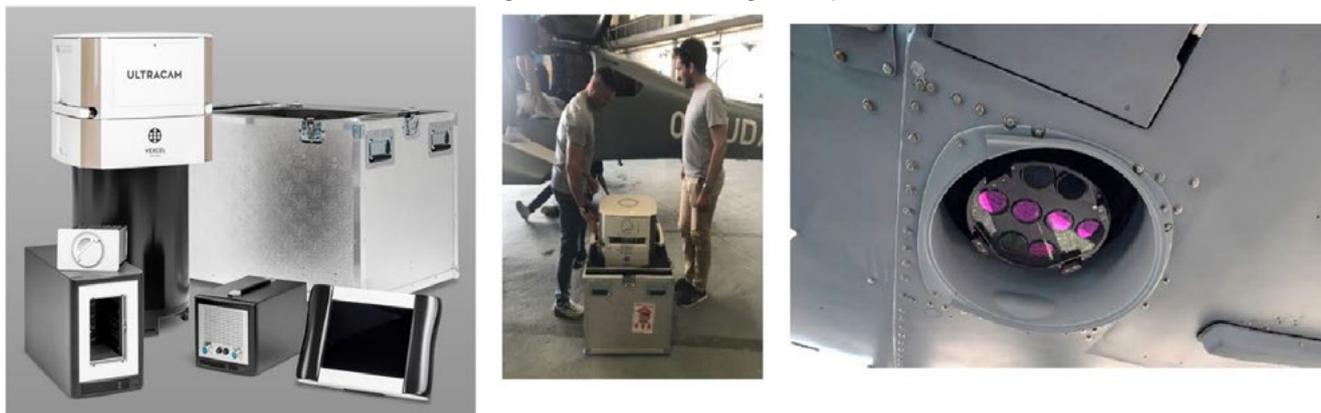


FIGURA 1. Avión aerofotográfico Diamond DA-62 MPP del EA



Fuente: IGN.

FIGURA 2. Cámara aérea digital Vexcel UltraCam Eagle Mk 3 y su instalación en el avión



Fuente: IGN.

10 TB (más de 6000 imágenes), un sistema de posicionamiento GNSS/IMU integrado y está montada sobre una plataforma giroestabilizada UltraMount GSM40000, lo que garantiza la verticalidad en la toma de las imágenes con una desviación máxima de $0,1^\circ$. Para su manejo y control en vuelo, dispone de una tecnología de pantalla táctil que permite la visualización y control de calidad de cada imagen en el vuelo en forma instantánea.

Sensor láser LiDAR Riegl VQ-780 II: es un instrumento que mide distancias con gran precisión. Su principio de funcionamiento se basa en determinar el tiempo que transcurre entre la emisión de un pulso láser y la detección de la señal reflejada tras encontrar un objeto o el suelo. Se encuentra instalado en la parte frontal del avión (FIGURA 3), y tiene un espejo poligonal que realiza un escaneo transversal a medida que el avión avanza, generando una nube

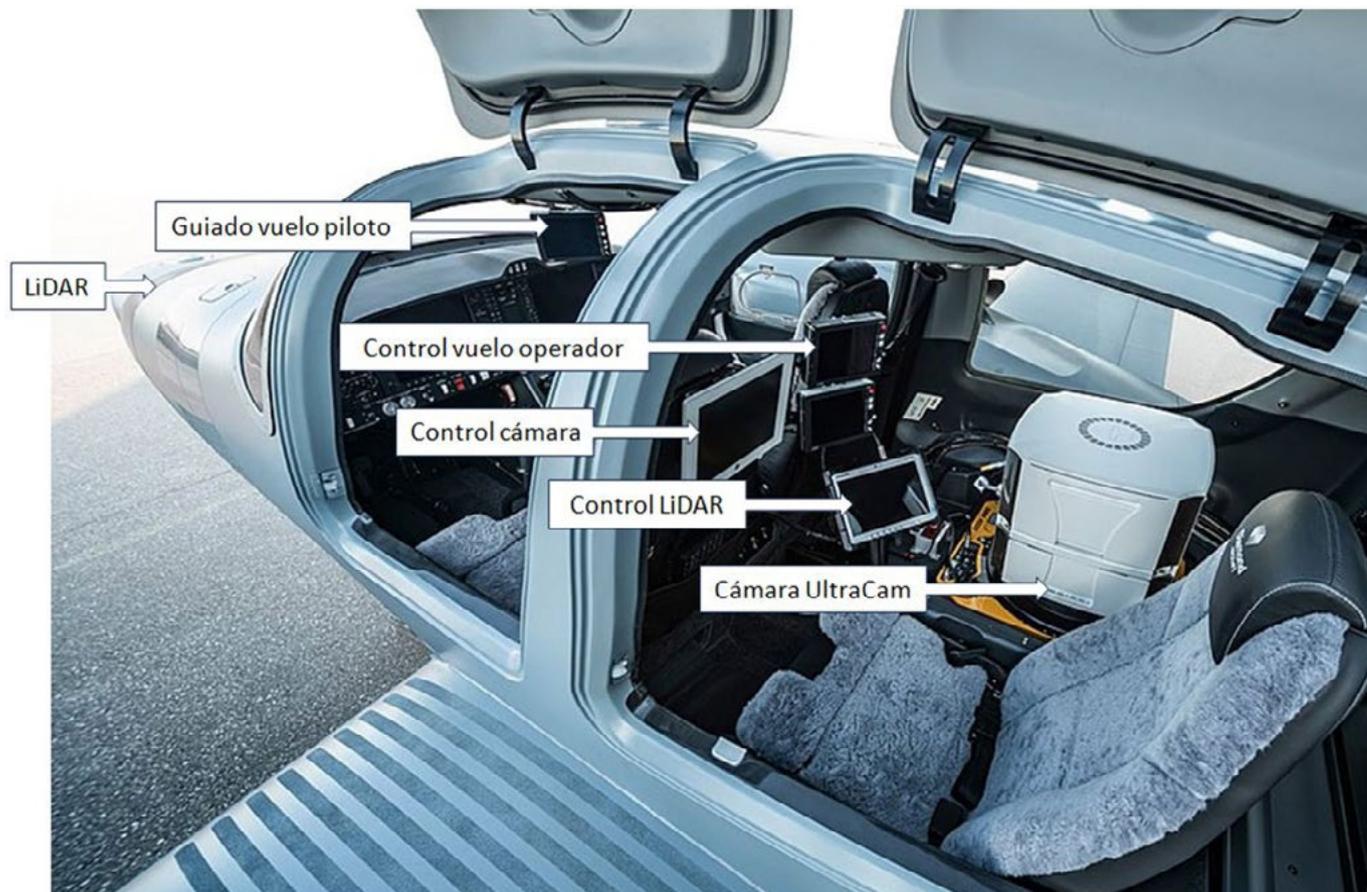
de puntos tridimensionales muy densa que permite la elaboración de modelos digitales de superficie (MDS) y de terreno (MDT) de gran precisión y exactitud (hasta 20 mm). Posee una capacidad de repetición de pulsos de hasta 2 MHz (1,33 millones de pulsos/seg), y puede detectar hasta un máximo de 14 objetos por pulso. En condiciones estándar de operación permite relevar cerca de $400 \text{ km}^2/\text{h}$ de superficie, a $9,82 \text{ puntos}/\text{m}^2$ desde una altura de 5000 pies sobre

FIGURA 3. Sensor Lidar Riegl VQ-780II y su instalación en la nariz del avión Diamond



Fuente: IGN.

FIGURA 4. Distribución de los sensores y pantallas de control en la cabina del avión DA-62



Fuente: IGN.

el terreno, dado su ángulo de visión (FOV) de 60°. Es importante destacar que para operar este sensor no es necesario contar con días en condiciones fotogramétricas óptimas para realizar el relevamiento, y que no reemplaza a la cámara aérea, sino que es un excelente complemento, ya que entre ambos permiten resolver problemas altimétricos en zonas de cobertura y topografía heterogénea.

La operación en vuelo de los sensores remotos y la instalación, uso y mantenimiento del hardware y software mencionados estarán a cargo del IGN, con los cuales se capturarán datos de la superficie del territorio de la República Argentina, a fin de extraer los rasgos geográficos y obtener subproductos derivados como fotografías aéreas, mosaicos ortorectificados, nube de puntos, modelos de superficie (MDS) y modelos del terreno (MDT).

La FIGURA 4 presenta la configuración de la cabina de vuelo del avión Diamond, con la ubicación de las pantallas de control de vuelo y de los sensores montados a bordo.

Entre fines de septiembre y principios de octubre de 2024, luego de la llegada del avión y los sensores fotogramétricos detallados, personal especializado del IGN y del EA recibió una capacitación intensiva de tres semanas en el uso de estos sensores y de los diversos softwares de pre y post procesamiento entregados. Esta capacitación fue realizada en instalaciones del EA (Campo de Mayo) y del Instituto Geográfico Nacional, y brindada por personal de las empresas Diamond Aircraft, IGI y GTBi, proveedoras de los sistemas aerotransportados.

Actividades de operación del nuevo sistema aerofotogramétrico

Durante los meses de octubre y noviembre de 2024 se ejecutaron diversos vuelos para probar los sensores y poner en práctica los conocimientos adquiridos por el personal del IGN y EA durante las capacitaciones recibidas.

Se realizaron vuelos de prueba y operativos con la cámara aérea y el LiDAR sobre la ciudad de Luján, Campo de Mayo, la ciudad de Paraná y sobre el Puente Zárate-Brazo Largo, y en todos ellos se obtuvieron excelentes resultados en la precisión y exactitud de los productos elaborados (ortomosaicos, modelos digitales de superficie y terreno, y nubes de puntos).

Se elaboraron los mosaicos de fotografías aéreas de los sectores relevados: Luján, Campo de Mayo (FIGURA 5) y ciudad de Paraná.

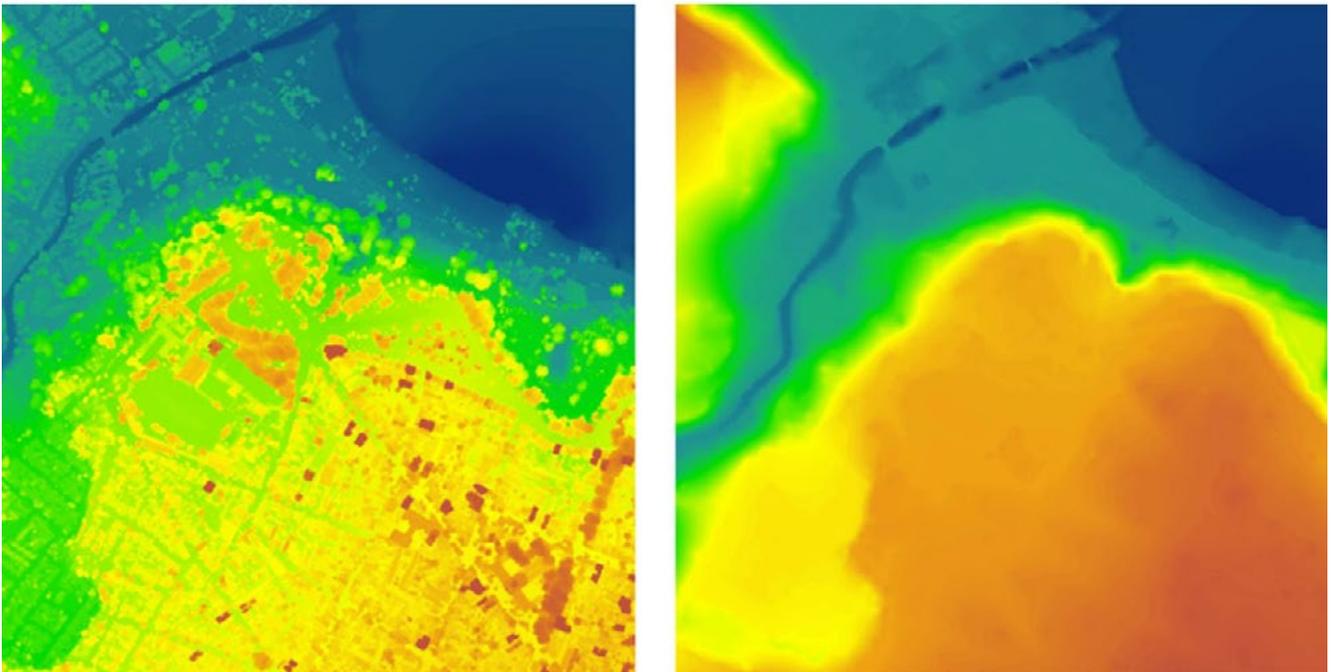


FIGURA 5. Ortofotomosaico RGB (color real) de Campo de Mayo



Fuente: IGN.

FIGURA 6. Segmentos de MDS (izquierda) y MDT (derecha) de la ciudad de Paraná



Fuente: IGN.

Se elaboraron también los MDS y MDT fotogramétricos de la ciudad de Luján, ciudad de Paraná (FIGURA 6, en página anterior) y Campo de Mayo.

Se procesaron las nubes de puntos obtenidas en los relevamientos LiDAR realizados sobre la ciudad de Luján, sobre el Puente Zárate-Brazo Largo (FIGURA 7) y sobre el sector de la pista de la Dirección de Aviación del EA en Campo de Mayo.

Conclusiones

La actualización de la cartografía nacional a diferentes escalas, como misión principal del IGN, requiere de vuelos constantes y regulares que permitan abarcar diferentes zonas con distintas expresiones topográficas y ambientales. En cuanto al LiDAR, su empleo no

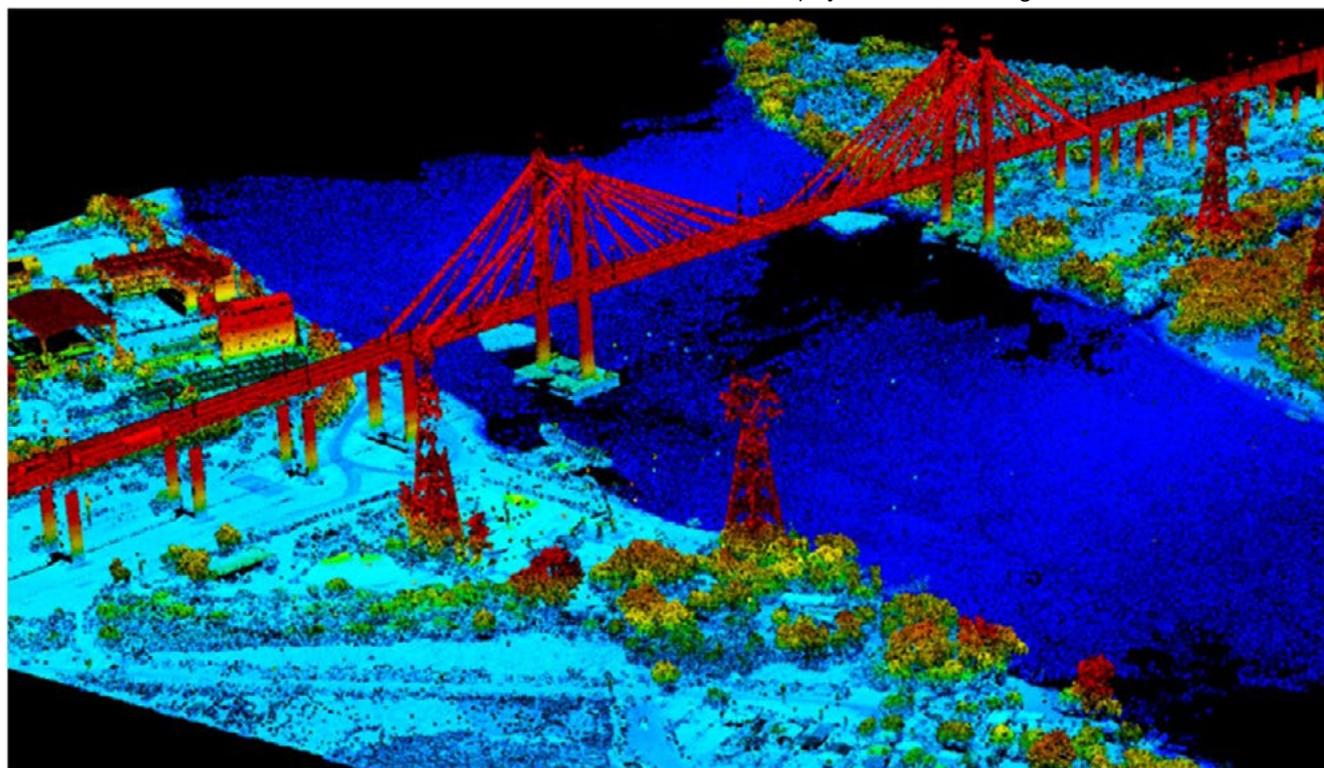
se encuentra comprometido en su totalidad por condiciones meteorológicas que afecten las misiones de vuelo aerofotográfico.

El equipamiento recibido por el EA y el IGN permiten agregar a la experticia y conocimiento de ambos organismos un valor adicional que actualmente no cuenta ningún organismo del Estado Nacional, con la notable capacidad de obtener información geoespacial muy precisa y actualizada, para generar productos de mayor calidad en plazos cortos de tiempo.

Las posibilidades de empleo de esta tecnología se extienden más allá del ámbito vinculado estrictamente a la actividad del IGN, ya que otros organismos públicos nacionales, provinciales y municipales, de investigación y aca-

démicos, así como también empresas privadas, podrán contratar este sistema aerofotográfico para la elaboración de productos para diversidad de temáticas como planificación territorial, actualización catastral, proyectos medioambientales, estudio y mitigación de emergencias, construcción y monitoreo de obras de ingeniería específicas (represas, puentes, caminos, etc.), entre otras opciones y alternativas que ofrecen la combinación de las fotografías aéreas de alta resolución y los modelos digitales de elevación provenientes de los datos de la cámara aérea digital y del LiDAR. En definitiva, con el uso y manejo de la información geoespacial que podrá ser elaborada con esta nueva tecnología aerofotogramétrica, se beneficiará toda la sociedad.

FIGURA 7. Relevamiento altimétrico LiDAR del complejo Zárate-Brazo Largo



Fuente: IGN.

BIBLIOGRAFÍA

Pietrangelo, L., y Sassone, M. (2012). Nueva era en la fotogrametría digital del IGN: Aspectos técnicos y el proceso fotogramétrico. *El Ojo del Cóndor*, (2), 46-51.

PUBLICACIONES

Atlas Geográfico de la República Argentina (Edición 2025)
IGM – IGN 130 Años
Atlas Tucumán 100K
Revistas El Ojo del Cóndor (varios números)
Kit escolar

CARTAS TOPOGRÁFICAS (Cualquier escala)

Cartas Topográficas formato papel
Carta de Imagen satelital en soporte papel
Carta de Imagen satelital en formato especial
Ploteos de cartas agotadas

ISLAS MALVINAS

Islas Malvinas - Operaciones de Tropas de Comandos en el "Teatro de Operaciones del Atlántico Sur" PLOTEO NUEVO
Cartas topográficas Islas Malvinas (Escala 1: 250 000) - Edición 2023
Carta de Imagen Satelital Islas Malvinas (Escala 1:500 000) - Edición 2022
Carta Topográfica Islas Malvinas (Escala 1:500 000) - Edición 2022

FOTOGRAFÍAS AÉREAS HISTÓRICAS

Fotografía B/N en CD a 10 Micrones (2540 DPI)
Fotografía B/N en CD a 20 Micrones (1270 DPI)
Fotografía B/N en papel fotográfico a 30 Micrones
Mosaico de ortofotos x km (consultar)

MAPAS PROVINCIALES: Físico-Políticos / Satelitales (Medidas: 78 cm x 112 cm aprox.)

PROVINCIA DE BUENOS AIRES
En escala 1: 950 000
Edición 2024

PROVINCIA DE CORRIENTES
En escala 1:600 000
Edición 2019

PROVINCIA DE LA PAMPA
En escala 1:700 000
Edición 2016

PROVINCIA DE SALTA
En escala 1:850 000
Edición 2019

PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO, ANTÁRTIDA E ISLAS DEL ATLÁNTICO SUR
En escala 1:7 400 000

PROVINCIA DE CATAMARCA
En escala 1:650 000
Edición 2017

PROVINCIA DE ENTRE RÍOS
En escala 1:500 000
Edición 2022

PROVINCIA DE MENDOZA
En escala 1:650 000
Edición 2016

PROVINCIA DE SANTA CRUZ
En escala 1:900 000
Edición 2016

Isla Grande de Tierra del Fuego
En escala 1:600 000

PROVINCIA DEL CHACO
En escala 1:750 000
Edición 2016

PROVINCIA DE FORMOSA
En escala 1:600 000
Edición 2019

PROVINCIA DE MISIONES
En escala 1:400 000
Edición 2019

PROVINCIA DE SANTA FE
En escala 1:750 000
Edición 2019

Islas Malvinas
En escala 1:1 000 000
Edición 2019

PROVINCIA DEL CHUBUT
En escala 1:800 000
Edición 2017

PROVINCIA DE JUJUY
En escala 1:500 000
Edición 2024

PROVINCIA DEL NEUQUÉN
En escala 1:600 000
Edición 2016

PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO
En escala 1:650 000
Edición 2019

Atlántico Sur
En escala 1:7 400 000
Edición 2019

PROVINCIA DE CÓRDOBA
En escala 1:650 000
Edición 2019

PROVINCIA DE LA RIOJA
En escala 1:600 000
Edición 2016

PROVINCIA DE RÍO NEGRO
En escala 1:900 000
Edición 2016

PROVINCIA DEL TUCUMÁN
En escala 1:250 000
Edición 2016

MAPA PLANISFERIO FÍSICO-POLÍTICO

(versiones estándar e invertida)
Proyección Aitoff
En escala 1:28 000 000
Soporte papel laminado
Contiene nomenclatura ciudades
Medidas: 80 cm x 150 cm aprox.
Edición 2016

BICONTINENTAL de la REPÚBLICA ARGENTINA Político

Proyección Azimutal Equiaréa de Lambert
En Escala 1:5 000 000
Soporte papel laminado.
155 cm de alto x 84 cm de ancho
Edición 2024

POLÍTICO DE LA ANTÁRTIDA ARGENTINA

Edición 2024 (82 cm x 96 cm)
Edición 2010 (30 cm x 40 cm)

PLOTEOS

Mapas antiguos
(distintas medidas y papeles)
Ploteos en A0

Tubos de cartón porta cartas

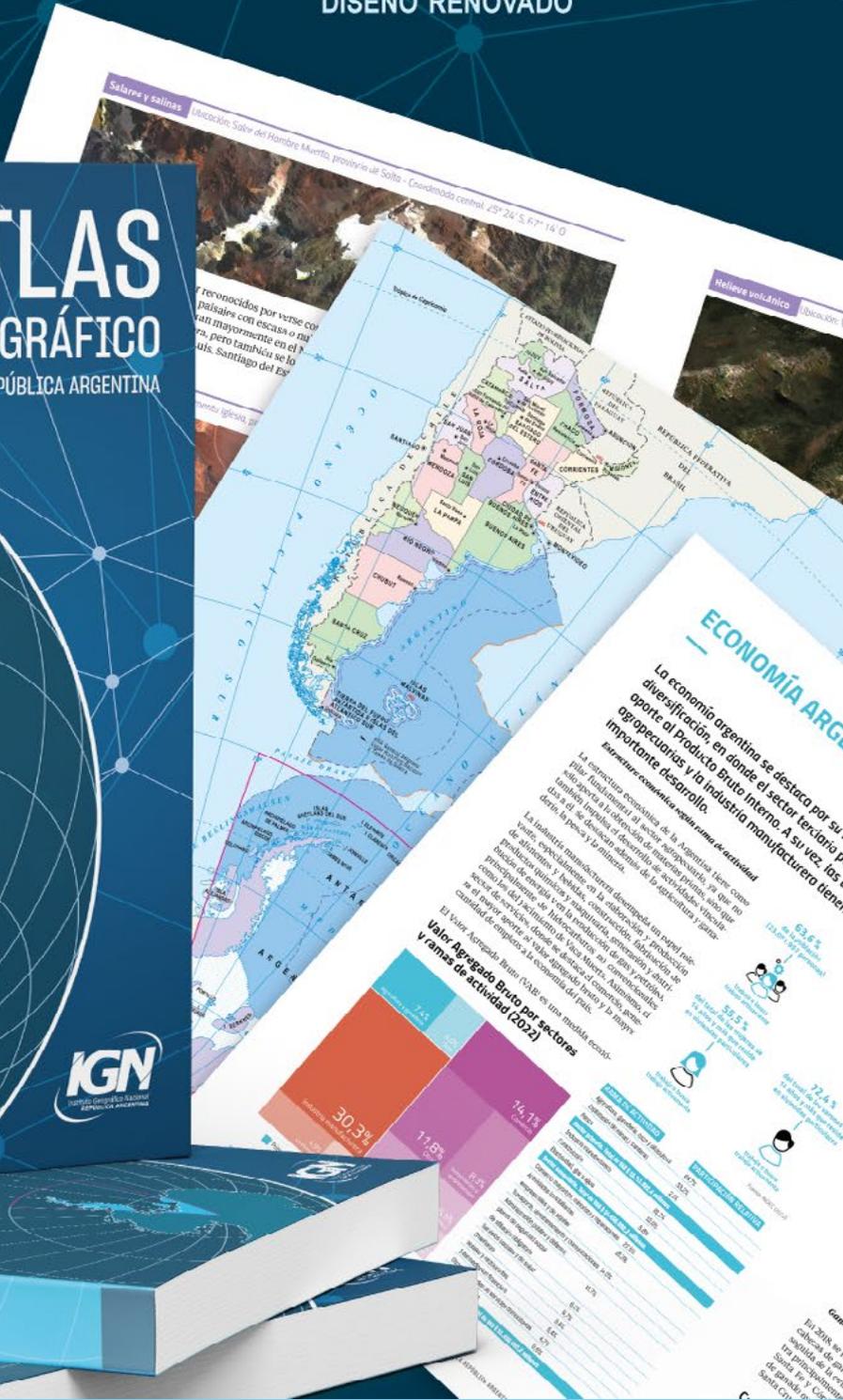
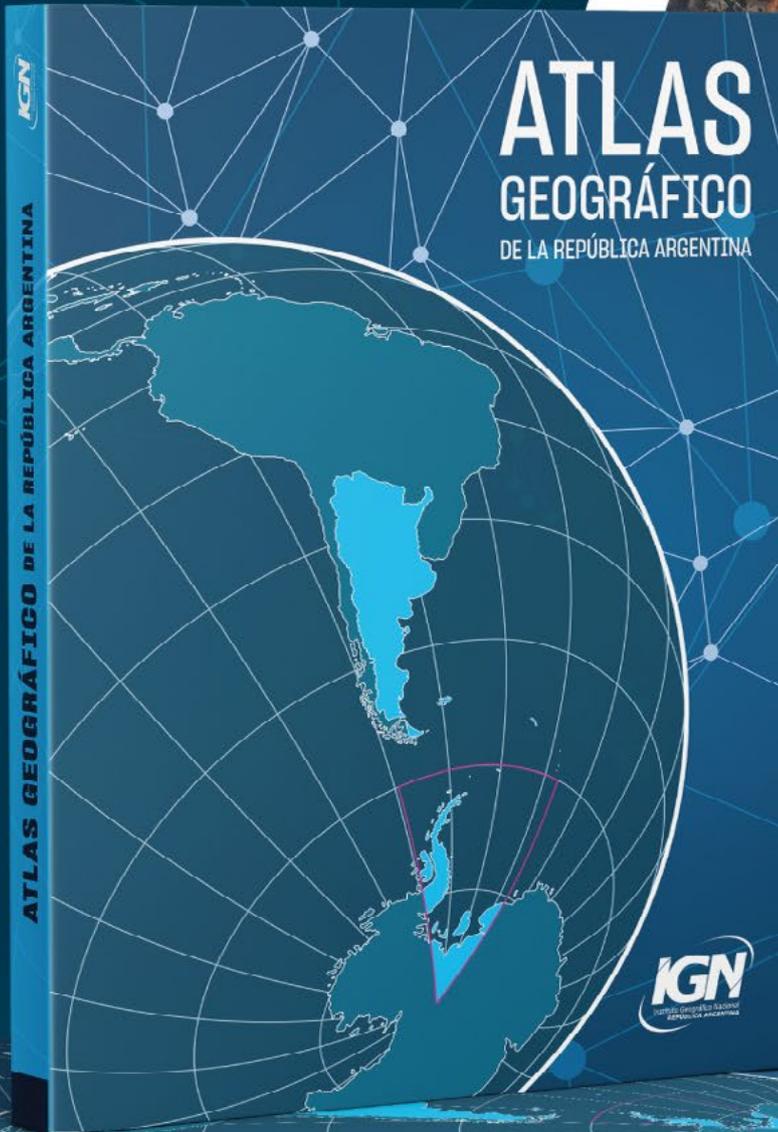
ATLAS GEOGRÁFICO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

NUEVA EDICIÓN 2025

SECCIONES GEOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA
IMÁGENES SATELITALES
LA ARGENTINA Y EL MUNDO
LA ARGENTINA EN MAPAS
PROVINCIAS ARGENTINAS

PRINCIPALES NOVEDADES

MAPAS ACTUALIZADOS
NUEVAS TEMÁTICAS
NUEVOS TEXTOS EXPLICATIVOS
DISEÑO RENOVADO



ATLAS GEOGRÁFICO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA